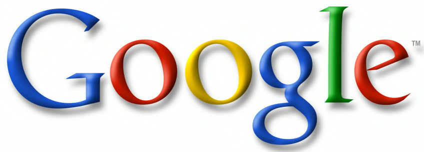




HANDBUCH

der

Naturlehre.

ERSTEN THEILS ZWEITE ABTHEILUNG.

Unwägbare Potenzen.

HANDBUCH

der

Naturlehre.

ERSTEN THEILS ERSTE ABTHEILUNG.

Mechanische Naturlehre.

HANDBUCH

der

NATURLEHRE

von

Dr. G. W. MUNCKE,

Grofsh. Bad. Hofrathe und Professor der Physik an der Universität Heidelberg, pensionirtem Ehrenmitgliede der Russ. Kaiserl. Academie der Wissenschaften zu St. Petersburg; Correspondenten der Universität Dorpat und mehrerer gelehrten Gesellschaften Mitgliede.

Erster Theil,

welcher die Experimentalphysik enthält;

in zwei Abtheilungen mit 5 Kupfertafeln.



HEIDELBERG.

In der Universitäts-Buchhandlung von C. F. Winter.

1829.

tant il est vrai que les erreurs, les superstitions, les vaines terreurs et tous les maux qu'entraine l'ignorance, se reproduiraient promptement, si la lumière des sciences venait à s'éteindre.

DE LA PLACE.

Vorrede.

Indem ich die hinlänglich grofse Zahl zum Theil vortrefflicher Handbücher der Physik durch ein neues vermehre, mufs ich nothwendig die Gründe hierzu mit wenigen Worten angeben. Zuerst hat mich die Rücksicht auf meine Vorlesungen zur Abfassung desselben bewogen. Die von mir im Jahr 1819 herausgegebenen Anfangsgründe der Naturlehre sind zwar als Leitfaden, und Grundlage des mündlichen Vortrags reichhaltig genug, allein in Uebereinstimmung mit dem Urtheile einiger sehr fleifsiger Zuhörer habe ich mich später überzeugt, dafs sie für den beabsichtigten Zweck dennoch zu wenige Erläuterungen enthalten, so sehr auch bündige Kürze bei Compendien zu empfehlen ist. Soll nämlich der meistens auf ein Semester beschränkte Vortrag über die Experimentalphysik gehörig verstanden werden, so ist es bei dem grofsen Umfange dieser neuerdings so sehr erweiterten Wissenschaft unerläfslich, den Hauptinhalt der vorgetragenen Gegenstände in einem etwas ausführlicheren Handbuche nachlesen zu können, um so mehr, als die Kürze der Zeit gebietet, manche einzelne Untersuchungen nur überhaupt zu berühren. Aufserdem ist die Naturlehre für viele wissenschaftliche Disciplinen ein unentbehrliches Hülfsmittel, und er-

klärt so manche oft vorkommende Erscheinungen, über welche jeder einer höheren Bildung sich erfreuende Mensch gern Auskunft wünscht, dafs ein nicht allzu ausführliches, aber für diesen Zweck genügendes Werk ein leicht allgemein gefühltes Bedürfnifs befriedigt. Dabei ist es aber mindestens am bequemsten, sich hierzu desjenigen zu bedienen, dessen nähere Bekanntschaft man schon bei den akademischen Vorlesungen gemacht hat. Ein zweiter Beweggrund zur Abfassung dieses Handbuches lag für mich in dem Umstande, dafs die erste Auflage des von mir 1825 herausgegebenen Compendiums für Schulen und Gymnasien vergriffen, und eine zweite so eben vollendet ist. Will der Lehrer dieses aus Gründen nur sehr kurze Werk bei seinen Vorträgen benutzen, so ist es auf allen Fall sehr bequem, wenn nicht mitunter sogar nothwendig, eine ausführlichere Erläuterung der dort nur kurz vorgetragenen Sätze in einem mit der Zahl der Paragraphen correspondirenden gröfseren Werke finden zu können.

Indem ich mich also aus diesen Gründen zur Ausarbeitung des vorliegenden Handbuches entschlofs, mufste ich gerade diejenige Zeit wählen, in welcher mir die Theilnahme an dem grofsen physikalischen Wörterbuche in sofern einige Zeit übrig liefs, als ich selbst keine wichtige Artikel zu liefern hatte. Dafs ich mich rücksichtlich des Inhaltes stets in den Grenzen eines Handbuches gehalten, und nicht alles, selbst nicht die Literatur, in demjenigen Umfange aufgenommen habe, als mir bekannt und in meinen reichhaltigen Collectanien zur Hand ist, davon giebt eine Vergleichung

mit den im genannten Wörterbuche von mir selbst bearbeiteten Theilen einen unwiderleglichen Beweis. Insofern ein Handbuch ferner eine Uebersicht der Wissenschaft als eines Ganzen geben soll, habe ich mich hauptsächlich bemühet, sie so darzustellen, wie sie mir durch vieljähriges eifriges Forschen bekannt geworden und zum Systeme geordnet ist, weil ich glaube, dafs hierdurch das Auffassen derselben dem Leser erleichtert wird. Die mitgetheilten literärischen Nachweisungen sind daher nur in der Absicht beigefügt, um theils das Gesagte durch Autorität zu belegen, theils für ein weiteres Studium des Einzelnen die erforderlichen Hülfsmittel an die Hand zu geben. Indem ich also hoffen darf, dafs der Sachinhalt dieses Handbuches billige Erwartungen befriedigen wird, so mufs ich hinsichtlich des Stieles um gütige Nachsicht bitten; denn die mir zu Gebote stehende Zeit war viel zu kurz, als dafs ich auch hierauf hätte diejenige genaue Sorgfalt verwenden können, welche eine eigentliche Vollendung erheischt.

Bei der Anordnung des Ganzen mufste ich die in dem Schulcompendium schon bestehende Reihenfolge der Paragraphen beibehalten, woraus der Vortheil erwachsen ist, dafs ich überall auf das früher oder später Gesagte verweisen konnte, weil jenes Werk schon ausgearbeitet war. Es erscheinen hier vorläufig die beiden ersten Abtheilungen, welche die Experimentalphysik umfassen, und einzeln gebunden werden können, wenn sie für einen Band zu stark scheinen sollten, wobei von den fünf Kupfertafeln nur Taf. I. der ersten

Abtheilung beizufügen wäre. Den zweiten Theil, oder die dritte Abtheilung, worin die angewandte Physik auf etwa 30 Bogen enthalten seyn wird, hoffe ich nebst einem Register über das Ganze in der nächsten Ostermesse liefern zu können.

Heidelberg im Juni 1829.

Der Verfasser.

Vorläufige Bestimmungen.

§. 1.

Naturlehre heifst die Lehre von der Natur oder · Unterricht über dieselbe, und bezieht sich hiernach ' die ganze sinnlich wahrnehmbare Welt. In diesem itesten Sinne des Wortes zerfällt dieselbe in zwei eile, einen historischen und einen philosophischen. ıer begreift die Kenntnifs der Natur in ihren einnen Theilen, und fafst die sphärische Astronomie, ysische Geographie, Geognosie und die sogenannte :urgeschichte in sich, welche leztere wieder in Zooie, Botanik und Mineralogie eingetheilt wird. Diese ;egen untersucht die Veränderungen in der gesamm- Körperwelt, nebst den Ursachen und Gesetzen, durch sie hervorgebracht werden. Hierunter ge- ·en die physische Astronomie, die sogenannte Physik turlehre im engeren Sinne), Chemie und Physiologie.

Bei den Griechen fafste die Physik (τα φυσικά) alle ie genannten wissenschaftlichen Disciplinen in sich, und uch bei den Lateinern finden wir sie unter einem geıeinschaftlichen Namen in der historia naturalis des Pliius vereinigt. Nach dem Wiederaufleben der Wissen:haften beschäftigten sich die Naturforscher gleichfalls rieder mit allen denjenigen Untersuchungen, welche zur ıenntnifs der Natur und ihrer Gesetze gehören. Erst hngefähr seit dem Anfange des vorigen Jahrhunderts nahıen die verschiedenen, zur Naturforschung im Allgemeien gehörigen Theile an Umfang in einem solchen Grade

zu, daſs der einzelne Gelehrte sie nicht insgesammt zu umfassen vermochte, und es trennte sich daher zuerst die Naturgeschichte von der Naturlehre. Seit der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurde die Chemie so sehr erweitert, daſs sie als selbstständige Wissenschaft hervorging, indem schon früher die Physiologie ihres groſsen Umfanges wegen als ein vorzüglicher Zweig der Medicin betrachtet wurde. Gegenwärtig sind sogar die zur eigentlichen Physik gehörigen Theile von so groſsem Umfange, daſs das tiefere Studium aller dem einzelnen Gelehrten kaum mehr möglich ist. Dennoch aber kann die Naturforschung noch immer als ein gemeinsames groſses Ganzes betrachtet werden, dessen einzelne Theile sich als Haupt- und Hülfswissenschaften wechselseitig unterstützen [1].

§. 2.

Einer der vorzüglichsten Theile dieser Wissenschaft ist die Naturlehre im engeren Sinne, oder die Physik nach der einmal angenommenen Bedeutung dieses Wortes. Sie untersucht die allgemeinen Gesetze, nach welchen, und die Ursachen, durch welche alle Veränderungen in der Körperwelt (Natur) hervorgebracht werden. Sie zerfällt wieder in zwei Haupttheile. Der eine derselben beschäftigt sich mit den Naturerscheinungen in der Absicht, um aus ihnen die allgemeinen Gesetze zu erforschen, denen die Veränderungen in der Körperwelt unterworfen sind, und wir nennen diesen von der groſsen Zahl der unentbehrlichen Versuche Experimentalphysik. Im andern beobachtet man die Naturerscheinungen mehr im Groſsen, und sucht eigentlicher die allgemeinen Gesetze auf dieselben anzuwenden, als sie aus ihnen erst zu entnehmen. Wir nennen dieses angewandte Physik, und begreifen darunter die physische Astronomie, die Theorie der Erde und der Atmosphäre.

Das eigentliche Object der Naturlehre oder Physik nach dem gegenwärtig herrschenden Sprachgebrauche ist, die

[1]) Vergl. Fries Lehrbuch der Naturlehre. §. 1 — 10.

Ursachen der gesammten Naturerscheinungen zu erforschen (causas rerum cognoscere), und sie auf allgemeine Gesetze zurückzubringen, durch welche Bestimmung also ihr Standpunct eben so vollständig als genau bezeichnet wird. Eben daher gehört jedes neu entdeckte Naturphänomen zunächst in das Gebiet der Physik, und es ist dann Obliegenheit der lezteren, dasselbe zu prüfen, dem schon Bekannten anzuschliefsen und ihm somit seinen gehörigen Platz anzuweisen. In dieser Allgemeinheit liegt ein hohes Interesse dieser Wissenschaft. Weil dieselbe aber nach Allgemeinheit der aufgefundenen Gesetze strebt, die lezteren aber mit den gesammten Thatsachen nicht blofs vereinbar seyn müssen, sondern auch durch jede neu hinzukommende bedingt werden, so mufs der Physiker sie insgesammt genau inne haben, um neue Phänomene gehörig prüfen und richtig ordnen zu können. Insofern aber noch stets neue Entdeckungen in diesem weiten Gebiete gemacht werden, müssen wir mit Grunde schliefsen, dafs unsere Kenntnifs der Natur und ihrer Gesetze noch keineswegs eine vollendete zu nennen sey.

Man unterscheidet oft theoretische und Experimentalphysik. Diese Trennung ist in sofern nicht ganz zweckmäfsig, als die Physik ihrem hauptsächlichen Charakter nach eine Erfahrungswissenschaft ist und nur ein Ganzes ausmacht. Dafs wir die Erscheinungen wissenschaftlich ordnen, unter allgemeine Gesetze vereinigen, und hierdurch eine Theorie derselben begründen oder zu begründen streben, berechtigt zu keinem besonderen Ausdrucke, indem solche abstracte Untersuchungen bei allen Wissenschaften selbst mit und neben ihren praktischen Anwendungen bestehen, ohne eine besondere Abtheilung zu bilden. Die vielen und ganz unentbehrlichen, entweder anzustellenden oder zu erzählenden, Experimente berechtigen vollkommen zu dem Ausdrucke: Experimentalphysik; der Ausdruck: theoretische Physik könnte ohnehin leicht auf Mifsdeutungen führen.

Das Verhältnifs der Experimentalphysik zur allgemeinen Chemie ist anscheinend schwer zu bestimmen. Wollen wir die allgemeinen Gesetze der Naturphänomene kennen lernen, so ist eine Kenntnifs der einfachen Bestandtheile aller Körper, oder der Grundstoffe, unentbehrlich, und hiernach scheint das Studium der Chemie vorangehen zu müssen. Weil aber diese leztere die verschiedenen Kräfte der Natur, insbesondere die Inponderabilien zu ihren Operationen nicht

entbehren kann, vielmehr eine Kenntnifs derselben und der Art ihrer Anwendungen voraussetzt, so führt dieses auf eine ganz entgegengesetzte Regel, welche aufserdem noch dadurch begründet ist, dafs das Allgemeine vor dem Besonderen vorausgehen mufs. Das Wahre hierbei ist wohl, dafs beide weitläuftige Wissenschaften stets neben einander gehen und sich wechselseitig unterstützen werden. In Rücksicht auf den akademischen Cursus mufs aber ohne Streit die Physik, vorzüglich aus dem leztgenannten Grunde, vorangehen, und einen kurzen Abschnitt über die einfachen Bestandtheile der Körper mit aufnehmen. (Biot [1]) sagt: C'est ainsi, que l'étude de la physique est utile à la chimie, à la médecine, à la physiologie, soit végétale, soit animale, et doit nécessairement les préceder.)

§. 3.

Da das Object, womit sich die Naturlehre beschäftigt, nicht a priori gegeben ist, mithin nicht aus allgemeinen Begriffen erkannt werden kann (nicht metaphysisch ist), so müssen wir dasselbe zuvörderst durch die Erfahrung zu erforschen suchen. Dieses geschieht durch Beobachtungen und durch Versuche. Die ersteren sind entweder einfach, oder zusammengesetzt, mit freien oder bewaffneten Sinnen angestellt; Leztere erfordern eine Menge pafslicher Werkzeuge, welche zusammen einen physikalischen Apparat ausmachen. Beide sind nur dann nützlich, wenn sie mit Genauigkeit, Freiheit von Vorurtheil und ächt wissenschaftlichem Sinne gemacht werden.

Man hat die Frage aufgeworfen, ob Beobachtungen zur Auffindung der Naturgesetze wesentlicher wären, oder Versuche. Es leidet wohl keinen Zweifel, dafs beide unentbehrlich, und keineswegs ihrem Wesen nach so verschieden sind, als man hiernach anzunehmen geneigt seyn könnte. Man nennt Beobachtungen die Wahrnehmungen der Erscheinungen, wie die Natur sie darbietet; Versuche aber diejenigen, bei denen die Erscheinungen modificirt werden. Hieraus geht von selbst hervor, dafs wir viele Erfahrungen, z. B. über die Wirkungen der Gewitter, des Hagels, über

[1]) Traité de Phys. I. p. 8.

die Gestalt der Nordlichter, der Nebensonnen u. s. w., ohne Beobachtung nicht haben könnten; andere Erscheinungen, als die elektromagnetischen, die thermometrischen, die galvanischen u. s. w., würden uns ohne Versuche völlig fremd seyn. Außerdem müssen wir fast bei allen Versuchen zugleich beobachten, und bei vielen sogar mit bewaffneten Sinnen, so dafs also Beobachtungen und Versuche nicht wohl getrennt werden können. Die eigentliche Aufgabe des Physikers besteht also darin, die ihm durch die Natur unmittelbar dargebotenen, oder die durch ihn selbst modificirten Erscheinungen so genau und sorgfältig zu beobachten, und dabei so feine und zweckmäfsig gebauete Apparate anzuwenden, dafs die hieraus abgeleiteten Erfahrungen keinen weiteren Zweifeln unterliegen. Lezteres kann aber nur dann der Fall seyn, wenn sie so oft wiederholt sind, dafs man hoffen darf durch Ausgleichung der unvermeidlichen Beobachtungsfehler ein richtiges Resultat zu erhalten, weswegen auch namentlich in der Astronomie die Beobachtungen so sehr vervielfacht werden [1].

Ist die Zahl der Beobachtungen so grofs, dafs die Vergleichung derselben ihre Richtigkeit innerhalb der geforderten Fehlergrenze beurkundet, so kommt es darauf an, aus ihnen das gesuchte Naturgesetz zu entwickeln. Indem nämlich weder die Sinne selbst, noch auch die Apparate absolut genau sind, und auch der höchste Grad der Uebung und Fertigkeit des Experimentators nicht völlig gegen Fehler sichert, mithin alle Beobachtungen in einem gewissen Grade fehlerhaft seyn müssen, dagegen aber mit höchster Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, dafs unter einer gegebenen Zahl von Beobachtungen eine gleiche Menge von Fehlern auf die eine Seite als auf die andere fällt, dafs z. B. eben so oft zu viel als zu wenig gefunden sey, so kommt es nur darauf an, den Einflufs der Fehler verschwinden zu machen, und die Erfahrung selbst in gröfster Gewifsheit darzustellen. Das Resultat der Beobachtungen, oder das gefundene Naturgesetz wird dann entweder in Worten ausgedrückt, oder es wird geometrisch durch Linien und Figuren dargestellt, und in diesem Falle oder auch sonst in einem analytischen Ausdrucke zusammengefafst. Der Methoden, aus den Beobachtungen die Fehler verschwinden zu machen, um das

---

[1]) Baco von Verulam in: De interpretatione naturae; Senebier in l'Art d'observer. Genève 1775. II vol. 8. u. a. haben Vorschriften für die Kunst des Beobachtens gegeben.

eigentliche Gesetz zu entwickeln, giebt es verschiedene, wovon in jedem Falle die geeignetsten anzuwenden sind; die vorzüglichste, aber meistens zu weitläuftigen Rechnungen führende, Methode ist die der kleinsten Quadratsummen, indem man die Quadrate der Fehler summirt, und ihre Summe zum Minimum oder verschwinden macht. Gauss [1]) und Legendre [2]) sind die Erfinder dieser seitdem berühmt gewordenen Methode.

Da die Geschichte der naturwissenschaftlichen Forschungen beweiset, dafs kaum etwas denkbar ist, was nicht jemals als das Resultat der Beobachtungen und Versuche angegeben wurde, so sieht man hieraus klar, wie nothwendig es sey, sich vor Täuschung zu hüten. In der Regel wird man bei zu grofser Lebhaftigkeit und allzu vielem Interesse für eine Sache sie allezeit so finden, als man im Voraus sie zu finden glaubt. Aus vielen Gründen ist daher ein gemäfsigter Skepticismus für den Naturforscher unentbehrlich.

So wie man früher die seltenen Naturerscheinungen für Spielereien einer in der Natur thätigen Kraft hielt (lusus naturae), so richtete man auch die Apparate mehr zur Belustigung, als für die wissenschaftliche Forschung geeignet ein. Man ist gegenwärtig hiervon zurückgekommen, und strebt blofs nach Einfachheit, Genauigkeit und Zweckmäfsigkeit der Werkzeuge. Verschiedene Mechaniker, und unter diesen namentlich deutsche, haben es indefs neuerdings in der Verfertigung der Apparate unglaublich weit gebracht, wodurch dann zugleich die Forderungen der Genauigkeit und Schärfe bei Beobachtungen und Versuchen bedeutend gesteigert sind. Es bleibt dabei stets zu bewundern, wie manche der älteren Physiker mit ihren mangelhaften Werkzeugen dennoch so viel leisten konnten.

§. 4.

Wenn man die Resultate aller mit gröfster Genauigkeit angestellter Beobachtungen und Versuche zusammenstellt, und aus ihnen die allgemeinen Gesetze der Natur entwickelt, leztere alsdann nach ihrem noth-

---

[1]) Theoria combinationis observ. error. min. obnox. in Com. Soc. Reg. Gott. V. ad an 1819—22 u. a. a. O.

[2]) Mém. de l'Inst. 1810. II. 152. Lambert in Beiträge zum Gebrauche d. Math. u. s. w. Berl. 1765. I. 426 suchte schon eine allgemeine Methode.

wendigen Zusammenhange, mit Beseitigung alles inneren Widerspruches zu vereinigen sucht, so heifst dieses Philosophie der Natur, oder Naturphilosophie. Um aber hierbei theils eine festere Bestimmtheit vorzüglich der Zahlengröfsen zu erreichen, theils da, wo die anschaulichen Begriffe bei der Betrachtung des Unendlichen in der Natur schwinden, und die Menge der zu vereinigenden Thatsachen nicht mehr vom Verstande umfafst werden kann, wenigstens die Hauptresultate der Beobachtungen im einfachsten Ausdrucke festzuhalten, bedient man sich der Mathematik, welche als solche neben der Logik die einzige Hülfswissenschaft der Naturforschung im Allgemeinen, hauptsächlich aber der Physik genannt werden mufs.

Naturphilosophische Versuche, d. h. Bemühungen, die Gesammtheit der Naturerscheinungen unter allgemeine Gesetze zu ordnen, sind so alt, als die Wissenschaft ist, weil sie mit den menschlichen Denkgesetzen sehr nahe verwandt sind. Die aufgebaueten Systeme waren aber jederzeit der Summe der bekannten Thatsachen angemessen, und daher oft sehr mangelhaft, z. B. die Theorie der Jonischen Schule und die von Leucip und Democrit erfundene Atomenlehre. So wie die Menge der bekannten Thatsachen gröfser, und nach der erkannten Wichtigkeit derselben das Bestreben, sie zu erklären, reger wurde, vermehrten sich in einem gleichen Mafse auch die Schwierigkeiten, ein den Phänomenen genau angemessenes System zu begründen. Weigerte sich der menschliche Verstand, sein Unvermögen, das Unendliche der Natur in deutlicher Vorstellung zu umfassen, offen zu bekennen, wirkte insbesondere äufserer Druck und die Beschränkung der politischen und Denk-Freiheit dazu, dafs für den Verlust mancher äufseren Rechte ein Ersatz in dem Vermögen, alles zu erkennen und alles zu erklären gesucht wurde, so artete die Naturphilosophie meistens in eine Afterphilosophie aus, deren Charakter im Allgemeinen darin bestand, dafs der menschliche Verstand die Gegenstände alles Wissens in sich selbst, wie in einem Spiegel lesen wollte, oder gewisse dunkle Ausdrücke und Bilder mit der Behauptung verkettete, dafs dieses die eigentliche Erklärung aller Erscheinungen der Sinnenwelt

sey. Hieraus entsprangen die zahlreichen Aftergeburten des menschlichen Verstandes, als Cabbala und Mysticismus, die Lehre vom Makrokosmos und Mikrokosmos, und sonstige Verirrungen der Neuplatoniker und Gnostiker, die qualitates occultae der Scholastiker, magnetische Polarität der Menschen und Thiere, Siderismus, Rhabdomantismus [1]), und die mit Physik, Physiologie und Psychologie im Widerspruche befindlichen Behauptungen über den animalischen Magnetismus. Ein Muster ächter Naturphilosophie dagegen hat Newton aufgestellt, und die Art seiner Naturforschung blieb daher stets das nachahmenswertheste Muster, welches die besseren Physiker zu erreichen strebten, und nach hundertjähriger zwischenliegender Anstrengung und nach einer alle Vorstellung übersteigenden Erweiterung der Wissenschaft wo nicht übertroffen, doch mindestens erreicht haben. Dafs es noch immer Afterforscher giebt, welche ihre mangelhafte Kenntnifs der Sache durch dunkle und mystisch klingende Worte zu verbergen suchen, dabei zugleich die grofse Zahl der Nichtkenner durch Dreistigkeit in ihren Behauptungen und dialektische Kunstgriffe in der Darstellung zu täuschen wissen, kann im Ganzen den Fortgang der Wissenschaft nicht hindern, obgleich die Geschichte beurkundet, dafs diese Methode dem Verfalle derselben vorauszugehen pflegt. Zum grofsen Nachtheile ächt wissenschaftlicher Forschung hat es indefs für die schwächeren Geister etwas sehr Anlockendes, den Glauben in sich erzeugen zu lassen, es könne die Gesammtheit der Natur und ihrer Gesetze durch kurze Anstrengung eines erleuchteten Verstandes vermittelst blofser Vernunftschlüsse nach Auffindung eines ersten allgemeinen Princips vollständig erkannt werden, und bedürfe es dazu des mühsamen Weges nicht, durch anhaltendes ernstes Studium sich zuvor die nöthige Kenntnifs der Thatsachen zu verschaffen. Je geringer dann bei solchen verbildeten Naturphilosophen die Summe des Wissens ist, um so dreister werden sie in ihren Behauptungen seyn, wogegen der bescheidene und gründliche Forscher bei der Vermehrung seiner Kenntnisse die Summe der Schwierigkeiten stets wachsend findet, und die Hoffnung, alles zu erklären, immer mehr verliert. Dabei frägt sich zugleich, ob der endliche Verstand das Unend-

---

1) Die vermeintlichen geheimen Kräfte der Wünschelruthe sind nach der neuesten unpartheiischen Prüfung der Sache als gar nicht existirend verworfen. S. Hufeland Journ. d. pract. Heilkunde. LI. 2. 65.

liche der Natur schon hier zu fassen nicht etwa vermögend, sondern überhaupt bestimmt sey.

Es leuchtet von selbst ein, dafs der mathematische Weg der Beobachtung (ein Ausdruck, dessen sich einige bedienen) oder mathematische Naturforschung nicht als etwas abgesondert für sich Bestehendes anzusehen ist. Die Mathematik an sich kann die Natur nicht erforschen, und sie hat ihr Eigenthümliches blofs in einer ganz individuellen Sprache und Bezeichnungsart, welche, nebst der Methode und Form in der Verbindung der Begriffe sich durch eine, keiner sonstigen wissenschaftlichen Disciplin eigene Kürze und Bestimmtheit auszeichnet, worauf ihr Werth ganz eigentlich beruhet [1]).

§. 5.

Die eigenthümliche Beschaffenheit der zu untersuchenden Objecte und unserer Denkgesetze bringt es bei diesen, wie bei vielen anderen Forschungen, mit sich, dafs die einzelnen Erfahrungen fast jederzeit sofort zu einem Systeme geordnet werden. Man nennt dieses dann eine Hypothese, deren Zulässigkeit auf ihrer inneren Uebereinstimmung beruhet. Sie wird durch jede neu entdeckte Thatsache geprüft, und entweder bestätigt, oder modificirt oder widerlegt.

Ueber die Zulässigkeit der Hypothesen im Allgemeinen kann nicht gestritten werden, da ihre Nothwendigkeit aus ihnen selbst folgt. Ihr Werth ist indefs aufserordentlich verschieden, so wie das Talent der einzelnen Menschen in ihrer Erfindung, und im glücklichen Combiniren einiger weniger Thatsachen zur Grundlage eines wahren Naturgesetzes. Genau genommen ist ein Naturgesetz nur dann erst vollkommen begründet, wenn es allen Erfahrungen vollständig genügt. Insofern man aber nicht wissen kann, ob nicht künftig noch neue, auf dasselbe sich beziehende, Entdeckungen gemacht werden, so beziehen sich die angenommenen Naturgesetze blofs auf die bereits ausgemachten

---

[1]) Ueber das Wesen der Naturphilosophie vergl. H. F. Link über Naturphilosophie. Leipz. 1806. Derselbe: Natur und Philosophie. 1811. 8. Fries math. Naturphilosophie. Heidelb. 1822. Einleitung in dessen Lehrbuch d. Naturlehre. S. 22.

Thatsachen, und können zwar künftig anders modificirt werden, niemals aber mit lezteren in Widerspruch kommen.

§. 6.

Das Studium der Natur ist nothwendig, weil wir Menschen als Bewohner der Erde im Allgemeinen und durch eine unglaublich grofse Zahl von Bedürfnissen in engster Verbindung mit derselben stehen. Mit der Vermehrung der einen wie der andern, welche in zunehmender Progression, vorzüglich in den neueren und neuesten Zeiten, gestiegen ist, wächst die Nothwendigkeit der Naturforschung in gleichem Mafse, um hierdurch stets neue Hülfsmittel für das Leben und den Unterhalt der Erdenbewohner zu gewinnen. Je mehr das Studium der Natur zugenommen hat, um desto vollkommener ist der Nutzen desselben in dieser Hinsicht bestätigt, und wird sich noch ferner bestätigen. Man kann diesen Nutzen den objectiven nennen.

Die Anwendung der Naturlehre auf Schifffahrt, Handel, Technologie, Agricultur, Oekonomie und Fabrikenwesen ist so allgemein und vielfach, dafs es ganz überflüssig seyn würde, eine so bekannte Sache durch Beispiele zu erläutern. Eben so leicht fällt die Nothwendigkeit der Naturforschung als Vorbereitung, wo nicht Grundlage, des medicinischen Studiums von selbst in die Augen.

§. 7.

Aufser dieser Nothwendigkeit des Studiums der Natur und aufser seinem objectiven Nutzen ist noch der subjective Werth desselben, hinsichtlich der Schärfung des Nachdenkens, vorzüglich schätzbar. Ueberhaupt giebt es wohl keine Wissenschaft, welche als Uebung des Verstandes und der Denkgesetze, als Verwahrungsmittel gegen Aberglauben und Irrthum, und zur Beförderung ächt religiöser Empfindungen der Naturlehre vorzuziehen wäre.

Schon die Forderung anhaltender Beobachtung schärft die Aufmerksamkeit auf alles, was um uns vorgeht; die

Erfahrung oftmaliger Täuschung lehrt Behutsamkeit und Vorsicht; die stets neuen Schwierigkeiten, verbunden mit unfehlbar erhaltenem jedesmaligen Gewinne, erhöhen das Interesse, und beide vermehren den Eifer und die Anstrengung. Hat man jederzeit den grofsen Nutzen der Mathematik als Verstandesübung anerkannt, so darf nicht übersehen werden, dafs die Physik sich ganz eigentlich der mathematischen Methode bei ihren Forschungen bedienen mufs. Wenn sie daher schon im Allgemeinen als propädeutisches Studium vorzüglich empfehlenswerth ist, so dient sie als solche vorzugsweise dem Mediciner, um sich schon früh im Beobachten der Erscheinungen, und im richtigen Schliefsen von dem Wahrgenommenen auf die Ursachen desselben zu üben.

Nichts aber dient so sehr dazu, in uns die gehörige Bescheidenheit in Verbindung mit einem wohlgeregelten Gefühle unserer Menschenwürde zu wecken und zu erhalten, und überhaupt das eigentliche Verhältnifs, worin wir zu der Aufsenwelt und zu ihrem Urheber stehen, richtig zu bestimmen, als eine ächt philosophische Kenntnifs der Natur und ihrer Gesetze. Der menschliche Verstand findet hierbei im Grofsen wie im Kleinen die Unendlichkeit, welche er zwar nicht ergründen kann, wodurch er aber stets überzeugt wird, dafs auch er für die Unendlichkeit bestimmt sey. Endlich aber haben alle Stifter und Begründer der verschiedensten Religionen, von den Anbetern der Sonne, des Mondes, des Donnergottes u. s. w. bis auf den göttlichen Stifter derjenigen Lehre, wozu wir uns bekennen. die Natur selbst als vorzüglichste Quelle der Erkenntnifs Gottes empfohlen, und schwerlich wird jemand mit reinem und unbefangenem Sinne in das Universum blicken, ohne dafs sein religiöses Gefühl erhöhet und befestigt werde.

Manche glauben, die Naturforschung führe zum Materialismus, und in England war man einst deswegen ernstlich besorgt [1]. Wäre dieses gegründet, so entstände zuerst die Frage, ob die auf diesem Wege erhaltenen Resultate wahr oder falsch seyen. Im lezteren Falle könnten sie nicht aus ächter Naturforschung hervorgehen, und müfsten vielmehr durch dieselbe widerlegt werden, im ersteren dagegen könnten sie nicht nachtheilig seyn; denn

---

[1]) Vergl. A Confutation of atheisme cet. by Dr. Vince. Lond. 1807. Newton's Briefe an Bentley in Biblioth. Brit. IV.

Wahrheit zu erkennen ist höchstes Ziel des menschlichen Geistes, wie dann das höchste Wesen gewiſs ein Geist der Wahrheit und nicht des Truges ist. Die Besorgniſs zeigt sich indeſs bei näherer Untersuchung ganz ungegründet, indem selbst die Anhänger der Corpusculartheorie gar viele Erscheinungen, namentlich in der organischen Natur, auf Kräfte zurückführen müssen, welche bis jetzt nicht als materiell weder erkennbar, noch vorstellbar sind. Es wäre aber der höchste Grad der Inconsequenz, diese als unerkannt zu überspringen, und über das Wesen des menschlichen Geistes oder gar des Schöpfers der ganzen, nur in einem winzig kleinen Theile erkannten, Natur entscheiden zu wollen, ein mit ächter Naturforschung unverträgliches, nur den Afterphilosophen mögliches, Verfahren.

§. 8.

In der Bearbeitung der Naturwissenschaften sind jederzeit so viel stärkere Fortschritte gemacht, je mehr man Beobachtungen anstellte, und je höher unpartheiische Forschungen mit Ausschluſs einer bloſs leeren Speculation geschätzt wurden. Die Astronomie erforderte diese Methode fast ausschlieſslich, und ist daher am frühesten und am gründlichsten bearbeitet, als noch die übrigen Theile der Naturwissenschaften im Dunkeln lagen, oder aus Systemen bestanden, welche auf ganz sinnlosen oder naturwidrigen Hypothesen gegründet waren.

Man sucht meistens das Alter der Wissenschaften recht hoch hinaufzusetzen, und findet daher die ersten Spuren der Naturkunde schon in der Wiege des Menschengeschlechts. Sofern von einer Kenntniſs der Naturkörper, wie die Neugierde oder das Bestreben nach der Befriedigung der nothwendigsten Bedürfnisse des Lebens sie herbeiführt, die Rede ist, kann dieses zugegeben werden. Verlangt man aber eine wissenschaftliche Bearbeitung derselben, wie es eigentlich seyn muſs, so fängt diese viel später an, und ist wegen eines eigenthümlichen Hanges der Alten, vorzüglich der Griechen, zur Speculation ohnehin nicht sehr bedeutend. Bei den Indiern sind schwerlich die

ersten Spuren tieferer Kenntnisse anzutreffen. Die Aegyptier haben wahrscheinlich schon vor der Einwanderung der Israeliten einige astronomische und auch solche Erfahrungen in der Naturlehre gehabt, als ihre über das Mittelmäfsige hinausgehende Kenntnifs der Baukunst, Technologie und Agricultur unentbehrlich machten. Sie sind in der Hieroglyphensprache gröfstentheils untergegangen. Die Israeliten haben viel weniger als die Phönizier diese Zweige bearbeitet, und die Griechen bei weitem nicht so viel geleistet, als ihnen möglich gewesen wäre, wenn sie die viele Gelegenheit zum Beobachten hätten benutzen wollen. Was von den frühesten Bewohnern Italiens zu halten sey, ist in der Dunkelheit der Geschichte dieser ältesten (vielleicht germanischen) Völker verborgen; gewifs aber ist, dafs wir ihren Unterdrückern, den Römern, keine oder höchstens nur wenige bedeutende eigene Forschungen verdanken. Im Mittelalter gingen alle Wissenschaften unter, und wurden blofs bei den Arabern in schwachen Spuren erhalten.

Zuerst erstand die Astronomie mit neuem Leben aus den geringen Resten mathematischer Kenntnisse, welche sich beim Untergange des oströmischen Kaiserthums nach Italien geflüchtet hatten. An diese wurden almälig die einzelnen Zweige geknüpft, und gleich als wenn mehrere Völker diese grofse Ehre theilen sollten, stellten sie nach einander in Copernicus, Galilei, Kepler, Cartesius und Newton unvergefsliche Coryphäen auf. Der Glanz des Lezteren verscheuchte die Finsternifs gänzlich, alle Zweige der Naturwissenschaften wurden mit Eifer bearbeitet, und machten Fortschritte; am spätesten die Chemie, welche indefs zulezt die übrigen bald wieder einholte.

Die ältesten Philosophen der Griechen waren Naturphilosophen, deren scharfsinnige Theorieen keinen reellen Werth für die Wissenschaften hatten, weil sie nicht von Beobachtungen ausgingen. Hieraus erklärt sich, warum die Geschichte der Physik in jenen Zeiten mit der Geschichte der Philosophie zusammenfällt. Die ausgezeichnetsten, uns noch jetzt bekannten Männer waren Thales von Milet (c. 610 v. Ch.) nebst den Führern der Jonischen Schule, Anaximander (c. 615.) Anaximenes (c. 550.) Pherecydes (c. 530.) Hermotimus und Anaxagoras (c. 474.) beide von Klazomenä. Jener gelangte zu seinen Kenntnissen in Aegypten, eben wie der noch berühmtere

Pythagoras (c. 550 v. C.) dessen Schüler und Nachfolger Ocellus Lucanus (c. 490 v. C.) Timaeus von Lokri, Philolaus (c. 470 v. C.), Empedocles (c. 442) und Archytas von Tarent (c. 399.) waren. Weil eine die Beobachtungen entbehrende Naturphilosophie den menschlichen Geist auf die Dauer nicht befriedigen konnte, so artete sie durch Heraclitus (c. 502) und Parmenides (c. 434), den Nachfolger des Xenophanes (c. 584), welcher die Eleatische Schule stiftete, in Idealismus, durch Zeno von Elea (c. 450) in dialectischen Skepticismus aus. Beide veranlafsten den nach seinem Erfinder Pyrrho (c. 336) benannten Pyrrhonismus. Ganz diesem entgegengesetzt gründeten Leucip (c. 502) und Democrit (c. 420) den gröberen Atomismus, worauf man über diese Gegenstände zu philosophiren aufhörte, bis die Wissenschaft von den Schülern des Socrates, Plato (409—328) und Aristoteles (364—301) auf eine ganz verschiedene Weise, durch lezteren sehr bedeutend, wieder emporgebracht wurde. Nebenher blühete ein gründlicheres Studium der Astronomie und Mathematik. Hierin zeichneten sich aus Meton und Euctemon (c. 409) Eudoxus (c. 366) Callippus (c. 330) Timochares und Arystillus (c. 300 v. C.) Euclides (c. 300) Aristarch von Samos (c. 230) Aratus und Eratosthenes (c. 270) Hero und Ctesibius, beide von Alexandrien (c. 220) Archimedes (287—212) Apollonius von Perga (c. 244) Hipparch (c. 160) und einige aus der alexandrinischen Schule, als Sosigenes (c. 60) Menelaus (c. 98 n. C.) Theodosius aus Tripolis (c. 65 n. C.) Theon aus Smyrna (c. 115 n. C.) vorzüglich aber Claudius Ptolemäus (c. 150 n. C. G.) bis auch dieser Zweig mit Theon von Alexandrien (365 n. C.) und seiner gelehrten Tochter Hypatia unterging.

Neben der herrschenden Schule der Peripatetiker ging der Atomismus des Democrit durch Epicur (345—274) in verbesserter Gestalt wieder hervor und wurde durch Lucretius Carus (94—51) sinnreich bearbeitet. Bei den Römern wurzelten die eroberten Wissenschaften nicht tief, und Marcus Manilius, Seneca (2—66 n. Ch.) so wie Plinius (23—79 n. Ch.) waren daher mehr Compilatoren als Forscher. Desto mehr fand der Aberglaube Eingang, so dafs Diocletian (296 n. Ch.) alle ägyptischen Bücher alchemischen Inhalts zu verbrennen befahl. Im Mittelalter entdeckt man nur schwache Spuren

des physikalischen Studiums bei den Griechen (des Anthemius Brennspiegel c. 500 und das griechische Feuer des Callinicus c. 600) bei den Arabern (die Optik des Alhazen c. 1100, die Arithmetik des Mohammed-Ben-Musa, des Thebit-Ben-Korrah (um 860 n. C.) des Geber-Ben-Affla, und die chemischen Schriften des Dsafar oder Geber † 765 Ebn Zohr † 1168 Abulcasem † 1122 und Ebn Roschd † 1206) imgleichen bei den Persern und Usbekischen Tataren (die astronomischen Bemühungen des Nasireddin † 1244 Ulugh Beigh † 1450). Einige Bruchstücke kamen von dorther auch zu den Occidentalen (Agobard † 840 Alfons x † 1284 Gerbert † 1003 Roger Baco † 1284 Albertus Magnus † 1280 Frater Theodoricus de Saxonia c. 1310 Raymundus Lullus c. 1300 Alexander de Spina, Erfinder der Brillen 1313 und Flavio Gioga aus Amalfi c. 1300, Erfinder oder Verbesserer der Magnetnadel, welche die Chinesen schon 1100 J. v. Ch. gekannt haben sollen; nach Hager memor. sulla Bussola orient. cet.)

Vom 15ten sec. an erhoben sich zuerst die mathematischen, dann die astronomischen und Naturwissenschaften mit verjüngter Kraft, und seitdem sichern insbesondere die lezteren durch ihre innige Verbindung mit dem Leben, so wie durch die eigene Gröſse und Unvergänglichkeit des Objectes, worauf sie gerichtet sind, gegen einen gänzlichen Rückfall der Cultur. Unter denen, welche als vielseitig gebildete Gelehrte das Studium der Mathematik beförderten, verdienen Bessarion (1395–1472) Regiomontanus (1436—1475) Purbach (1423–1451) Nicolaus de Cusa (1401—1464) u a. vorzüglich genannt zu werden. Einige pythagoräische Ideen von der Sonne im Mittelpuncte ihrer Planeten, insbesondere aber das Bestreben, die verwickelten Bewegungen der Himmelskörper einfacher zu erklären, führten Nic. Copernicus (1472—1543) zur Gründung seines Systems. Dieses munterte Tycho de Brahe (1546—1601) zu seinen zahlreichen Beobachtungen auf, wobei er durch Friedrich II. von Dänemark freigebig unterstützt wurde. Unter dem Nachfolger desselben, Carl IV., wurde er aber durch die Kabalen der Minister seiner Pension beraubt, muſste Uranienburg verlassen und durfte selbst in Kopenhagen seine astronomischen Untersuchungen nicht fortsetzen. Bei Kaiser Rudolph II. fand er eine ehrenvolle Aufnahme und ein anständiges Unter-

kommen in Prag, wo er drei Jahre nachher starb. Sein Schüler Kepler (1571—1630) berechnete die zahllosen, durch Tycho gemachten Beobachtungen so lange, bis er seine berühmten Gesetze, die Grundpfeiler der physischen Astronomie, aus ihnen entwickelte. Schon früher entdeckte und rügte Bernhardin Telesius aus Cosenza (1508—1588) die Schwächen der aristotelischen Naturlehre; Galileo Galilei (1564—1641) aber kam auf dem Wege der Beobachtung und einer tiefen Speculation zur Auffindung des richtigern Gesetzes der Schwere, worin Evangelista Torricelli (1618—1647) und Pascal (1625—1662) ihm folgten. Gleichzeitig hiermit drang durch überlegene Geisteskraft geleitet Franz Baco von Verulam (1560—1626) auf Verbesserung der Form, namentlich auf Erforschung der Natur durch Beobachtung und Calcül, und wenn gleich Renatus Cartesius (1596—1650) sich in unhaltbare Hypothesen verlor, so weckte doch sein Scharfsinn die Aufmerksamkeit der bessern Köpfe, und seine Methode stellt ihn an die Spitze der mathematischen Physiker, worin Mersenne (1588—1648) und Huyghens (1624—1695) seine berühmtesten Schüler sind.

Die Philosophie des Cartesius hatte den menschlichen Geist geweckt, und als nun die Erfindung des Barometers (1645) des Fernrohrs (1610) und des Mikroskops (c. 1620) zur Beobachtung ermunterte, so erhielt das Studium der Natur eine Festigkeit, welche selbst durch die Stürme des dreifsigjährigen Verheerungskrieges nicht zertrümmert werden konnte. Hierzu wirkten Otto von Guericke (1602 1686) Mariotte, Robert Boyle (1626—1691) desgleichen Athan. Kircher, Caspar Schott, Bapt. Porta, und von der Mitte des 17ten sec. an Harvey, Schwammerdam, Leeuwenhoek, Malpighi, Bidloo, Sydenham, Gassendi, Baliani, Borelli, Hooke u. a. bis Isaak Newton's (1642—1727) überlegener Geist ein neues System schuf, welches vielleicht für immer die Grundlage ächter Naturforschung bleiben wird. Lange Zeit hielt man sich in Materie und Form blofs an ihn (s' Gravesande, Desaguliers, Musschenbroek, Christ. Wolf) während Leibnitz (1646—1716) nach langem Streite der Schiedsrichter den Preis des gröfsten Scharfsinnes mit ihm theilte, der Idealismus und Skepticismus (Malebranche, Berkeley, Spinoza, Hume) aber die Nichtigkeit der blofsen Speculation klar vor Augen legten.

Erst in der Mitte des 18ten sec. wurde Kenntniß und Studium der Natur allgemein verbreitet, und machte durch die große Zahl der täglich vermehrten Erfahrungen Riesenschritte. Die Bahn der experimentellen Forschung brachen Cavendish, Priestley, Wilke, Scheele, Winkler, Franklin, Lavoisier, Fourcroy, Pictet, Saussure, de Luc, Vauquelin u. a.; aber eine feste Basis gab dem Studio erst die Verbindung mit Mathematik durch Tob. Mayer, Lichtenberg, Coulomb, Laplace, La Grange, L. Euler, Aepinus, Biot, Arago, Fourier, Poisson, Playfair, J. Tob. Mayer, Gauss, Brandes, G. G. Schmidt, Hälström, Malus, Bowditch, Brewster, Parrot, Robison, Young, Leslie, Hansteen, Gilbert, Baumgartner u. a., während in den neuesten Zeiten der Wetteifer in einer so bestimmten als geregelten Forschung den höchsten Grad erreicht zu haben scheint, wie die Entdeckungen eines Spallanzani, Volta, Richter, Proust, Gay-Lussac, Dalton, Erman, Davy, Berzelius, Wollaston, Zamboni, v. Bohnenberger, Oersted u. a. beweisen. Aller aufgewandten Mühe und des größten Eifers ungeachtet konnte Deutschland den Nachbarstaaten kaum folgen, wenn gleich viele denselben durch die Bearbeitung der neueren sogenannten Naturphilosophie den Rang abzugewinnen hofften. Leztere ging aus als transcendentaler Idealismus von Kant's Versuche, die allgemeinen Gesetze der Natur aus dem abstracten Begriffe der Materie zu entwickeln. Ihm folgten als Führer der Secte Schelling, Oken, Hegel.

Zur Literatur dient:

J. B. v. Rohr physikalische Bibliothek u. s. w.; mit vielen Zusätzen und Verbesserungen herausgeg. von A. G. Kästner. Leipz. 1754. 8.

J. C. P. Erxleben physikalische Bibliothek. Gött. 1775 — 79. IV vol. 8.

Bibliotheca fisica di Europa, di L. Brugnatelli. Pavia T. I — XX. 8.

Krugs encyklopädisches Handbuch der wissenschaftl. Literatur, 2. Bd. 2. Hft. die encyklopädisch-physikal. Lit. enthaltend, von E. F. Wrede und F. B. Weber. Leipz. 1806.

Desselben Werkes ersten Bandes drittes Heft, die encyklopädisch-mathematische Literatur enthaltend. Ebend. 1812.

Ersch Handbuch der deutschen Literatur u. s. w. II. Bd. 1. Abth. Amst. u. Leipz. 1813. Neue Aufl. 1828.

J. D. Reufs Repertorium comment. a Soc. lit. edit. secundum disciplinarum ordinem. cet. Scientia naturalis. T. IV. Gott. 1805. 4.

Zum Nachlesen dienliche zum Theil gröfsere, noch jetzt klassische Werke:

Isaac Newton philosophiae naturalis principia mathematica. Lond. 1687. Perpet. Comment. illustrata-studio PP. Thomae le Seur et Franc. Jacquier. Genevae 1739. III T. 4. Vermehrter 1760. IV Tom. 4.

Joh. Keilii Introductio ad veram physicam. Oxonii 1708. Lond. 1719.

Physices elementa mathematica a. G. J. s' Gravesande. Leidae 1748. II T. 4.

Cours de Physique experimentale par J. T. Desaguliers. cet. traduit de l'Anglais par Pezenas. Par. 1751. II vol. 4.

Institutiones physicae a Pet. van Musschenbroek. Lugd. Bat. 1748.

Ejusd. Introductio ad philosophiam naturalem. Ibid. 1762. II T. 4 Das vollständigste Werk dieses berühmten Physikers ist:

Cours de Physique experimentale et mathematique, par Pierre van Musschenbroek, traduit par M. Sigaud de la Fond. cet. A Leyde 1769. III T. 4. 1 Vol. Kupfer.

J. A. Segners Einleitung in d. Naturlehre. Gött. 1770. 8.

G. E. Hambergeri Elementa Physices, methodo mathematica in usum auditorii conscripta. Jena 1741. 8.

J. Elliot's Anfangsgründe derjenigen Theile der Naturlehre, welche mit der Arznei-Wissenschaft in Verbindung stehen. A. d. Engl. von Bertram. Leipz. 1784. 8.

J. H. van Swinden Positiones physicae etc. Harderovici Gelrorum 1786. II vol. 8.

W. J G. Karsten Anfangsgründe d. Naturlehre. Halle 1780. 8. 2te Aufl. von F. A. C. Gren. 1790. 8.

F. A. Achard Vorlesungen über Experimentalphysik. Berlin 1791. IV T. 8.

T. G. Kratzenstein Vorlesungen über d. Experimentalphysik. Kopenh. 1787. 8.

J. C. P. Erxleben Anfangsgründe der Naturlehre, mit Anm. von Lichtenberg. 6te Aufl. 1791.

Handbuch der Physik für Schullehrer und Freunde dieser Wissenschaft, von C. P. Funke. Braunschweig 1797.

Grundriss der Naturlehre zum Gebrauch für Vorlesungen von Gren, neu herausgegeben von Fischer. Halle 1808. Von Kastner 1820.

G. S. Klügel's Anfangsgründe d. Naturlehre in dessen Encyklopädie. Berlin 1792.

Vollständiger und fasslicher Unterricht in der Naturlehre. In einer Reihe von Briefen an einen jungen Herrn von Stande. Leipz. 1793 u. 94. 3 Bde. 8.

G. Gregory's Haushaltung der Natur, dargestellt nach den neueren Entdeckungen und Versuchen. Uebers. von Kühn, herausgeg. von C. F. Michaelis. Nürnberg 1798 u. 1800. 2 Bde. 8.

J. C. Yelin Lehrbuch der Naturlehre. Ansbach 1796. 8.

Grundriss der Physik für Vorlesungen von Fr. Link. Hamb. 1798. 8.

Grundlehren der Physik von R. J. Hauy, übers. von Blumhof. 2 Th. Weimar 1804.

Lehrbuch der mechanischen Naturlehre von E. G. Fischer. Dritte Aufl. Berlin 1827.

Tib. Cavallo ausführliches Handbuch der Experimentalnaturlehre in ihren reinen und angewandten Theilen; übers. mit Anmerk. von Trommsdorf. Erfurt 1804—6. 4 Th. 8.

Anfangsgründe d. Naturlehre von G. U. A. Vieth. Fünfte Aufl. 1823. 8.

F. Kries Lehrbuch d. Physik. Dritte Aufl. Jena 1821. 8.

Anfangsgründe der dynamischen Naturlehre, abgefasst von Fr. Hildebrandt. 2 Th. Erlangen 1807.

Grundriss der Experimentalphysik von C. W. G. Kastner. Zweite Aufl. Heidelb. 1820 u. 21. 2 Bde. 8.

Anfangsgründe der Naturlehre von T. Mayer. Sechste Ausg. Göttingen 1827.

Hand- und Lehrbuch der Naturlehre zum Gebrauche für Vorlesungen und zum eignen Studium neu entworfen von Dr. G. G. Schmidt. Giessen 1826.

Leitfaden zum Gebrauch bei Vorlesungen über die Naturlehre von C. W. Boeckmann. 2te Aufl. Carlsruhe 1813.

Anfangsgründe der Physik und Chemie nach den neuesten Entdeckungen von G. A. Suckow. 2 Th. Augsb. 1813.

Entwurf des Systems der theoretischen Physik, zum Gebrauche bei seinen Vorlesungen von J. F. Fries. Heidelb. 1813.

Die mathematische Naturphilosophie nach philosophischer Methode bearbeitet. Ein Versuch von J. F. Fries. Heidelb. 1822. 8.

Lehrbuch der Naturlehre. Zum Gebrauch bei akademischen Vorlesungen bearbeitet von J. F. Fries. Erster Theil. Experimentalphysik. Jena 1826. 8.

Haudbuch der Naturlehre, enthaltend das Wissenswürdigste und Gemeinnützigste aus derselben, zum Selbstunterrichte und zum Unterrichte anderer von J. G. Süskind. Stuttgart 1812. (populär.)

Grundriſs der theoretischen Physik, zum Gebrauche für Vorlesungen von G. F. Parrot. 3 Th. Riga u. Leipz. 1809.

Entretiens sur la Physique par G. F. Parrot. Dorpat 1819—1828. VI Tom. 8.

Anfangsgründe der Physik und angewandten Mathematik, verfaſst von T. Siber. 2te Ausg. 1815.

Anfangsgründe der Physik, als Vorbereitung zum Studium der Chemie von B. Scholz. Dritte Aufl. Wien 1827.

Grundriſs der Physik, als Vorbereitung zum Studium der Chemie von J. B. Trommsdorf. Gotha 1817.

Lehrbuch der Physik von J. Ph. Neumann. Wien 1818 u. 1820. 2 Bde. 8.

Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande, mit Rücksicht auf mathematische Begründung dargestellt von A. Baumgartner. Zweite Aufl. Wien 1826.

Grundriſs der theoretischen und Experimentalphysik; nach dem Engl. Originale von John Millington. Erster Theil. Weimar 1825.

Brisson traité élémentaire ou principes de physique. Par. 1789. 3 vol. 8.

Traité complet et élémentaire de physique presenté dans un ordre nouveau, d'après les découvertes modernes par Ant. Libes, 2me ed. III vol. 8vo.

Traité élémentaire de physique par Hauy. 1re ed. Par. an XI (1803). 3me ed. 1821.

Essay d'un cours élémentaire et général des Sciences physiques. Partie Physique par F. S. Beudant. cet. Par. 1816. 8.

Traité de physique experimentale et mathematique, par J. B. Biot. 4 vol. Par. 1816. 8.

Précis élémentaire de physique experimentale par J. B. Biot. 2 vol. 8. A Paris 1824. Deutsch von Fechner. Leipzig 1824 u 25. 3 Bde. 8.

Traité élémentaire de Physique, par Despretz cet. Par. 1825. 1 vol. 8. Davon erscheint jetzt eine zweite Aufl.

Eléments de physique expérimentale et de météorologie; par M. Pouillet. T. I. Partie 1re et 2me. Par. 1828.

Cours de Physique; par M. Gay-Lussac, à la Faculté des Sciences de Paris; recuillé et publié par M. Gosselin. Par. 1827 u. 1828. Erscheint in einzelnen Vorlesungen.

An Introduction to Natural Philosophy. By W. Nicholson. Lond. 1790. II vol. 8.

Lectures an natural and experimental Philosophy etc. By the late George Adams. V vol. 8. Lond. 1799.

A system of mechanical philosophy. By John Robison. LL.D. with notes, by David Brewster LL.D. Edinburgh 1822. IV vol. 8.

A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts. By Thomas Young. M.D. In two Vol. Lond. 1807. 4.

Outlines of natural philosophy, being heads of lectures delivered in the university of Edinburgh by J. Playfair. 3 vol. Lond. 1814. 16. Der dritte fehlt noch, und schwerlich wird die Fortsetzung unter den Papieren des Verf. gefunden seyn.

The Panorama of Science and Art cet. by James Smith. Ninth edit. Lond. 1823. II vol. 8.

Elements of natural Philosophy. By John Leslie, Esq. Vol. first, including Mechanics and Hydrostatics. Edinb. 1823. 8.

Systematische Darstellung aller Erfahrungen in der Naturlehre. Entworfen von J. R. Meyer, bearbeitet von mehreren Gelehrten. Arau 1806. (bis jetzt 4 Bde., kann aber seines übermäfsig grofsen Planes wegen nicht fortgesetzt und vollendet werden).

Brisson Dictionnaire raisonné de Physique. Par. 1781. II vol. 4.

Dictionnaire de Physique, par MM. Monge, Cassini, Bertholon etc. de l'Académie des Sciences. A Par. 1793. enthält die Buchstaben A und B, wozu der zweite Band Supplemente liefert. Dieser und die folgenden haben den Titel: Encyclopédie méthodique. Physique, par MM. Monge, Cassini, Bertholon, Hassenfratz etc. etc. T. II — T. IV. A Paris 1816 — 1822. Im Ganzen IV T. 4. und II T. Kupf.

Hutton's mathem. and phil. dictionary, with plates 1815. 2 vol. 4.

Joh. Sam. Traugott Gehler's physikalisches Wörterbuch, neu bearbeitet von Brandes, Gmelin, Horner, Muncke, Pfaff. I. Bd. Leipz. 1825. II. Bd. 1826. III. Bd. 1827. IV. Bd. 1828. höchstens X Bde., mit etwa 200 Kupfertafeln.

Physikal. Wörterb. von Fischer. Gött. V T. 1798 — 1804. T. VI. Supplem. 1805. T. VII. Register. T. VIII — X. Supplementbände, 1823 — 1827.
Chemisches Wörterbuch von Klaproth und Wolf. Berlin V vol. u. IV Supplementbände. 1816.

Wichtigste Zeitschriften.

Göttingisches Magazin d. Wissenschaften und Litteratur von Lichtenberg und Forster. Gött. 1780 — 85. VI T.
Beschäftigungen der Berlinischen Gesellschaft naturforschender Freunde. Berlin 1776 — 79. IV vol. 8.
Schriften der Berlin. Ges. naturf. Freunde. 1787 — 1793. XI vol.
Neue Schriften d. Berl. Ges. nat. Freunde. 1795.
Abhandlungen der Berl. Ges. nat. Freunde. Wird fortgesetzt.
Physikalische Arbeiten der einträchtigen Freunde in Wien. Aufgesammelt von Born. Wien 1783 — 87. 4.
Hamburger Magazin u. s. w. Hamb. u. Leipz. 1748 — 67. XX Bde. 8. Dessen neue Folge. Ebend. 1767 — 77. 1stes bis 108tes Stück.
Sammlung zur Physik und Naturgeschichte. Leipz. 1779 — 1792. 4 Bde. 8.
Magazin für das Neueste aus d. Physik u. Naturgeschichte, von Lichtenberg, fortgesetzt von Voigt. 1781 — 99. XII vol. 8.
J. H. Voigt's Magazin für den neuesten Zustand d. Naturkunde. Weimar 1797 — 1806. XII vol.
Journal der Physik von Gren. Leipz. 1790 — 93. VIII Bde.
Dessen Neues Journ. d Physik. Leipz. 1795 — 97. IV Bde.
Gilberts Annalen d. Physik. 1797 — 1808. XXX Bde. Mit besonderem Titel, als neue Folge. Leipz. 1809 — 1824. LXXVI Bde. u. 1 Bd. Register. Fortgesetzt in
Annalen der Physik und Chemie. Herausgegeben zu Berlin von J. C. Poggendorff. 1825 u. s. w. bis jetzt XII Bde.
Allgemeines Journal d. Chemie von Scherer. 1796 — 1803. X vol. Fortgesetzt in
Neues allgemeines Journal d. Chemie von Gehlen. 1803 — 1805. VI vol. Fortgesetzt in
Journal für die Chemie und Physik von Gehlen. 1806 — 10. IX vol. Fortgesetzt in
Neues Journal für Chemie und Physik, von Schweigger. 1811. Bis jetzt LIV Bde. Wird fortgesetzt.

Der Königl. Akademie der Wissenschaften in Paris Physische Abhandlungen von W. B. A. v. Steinwehr. Bresl. 1748 — 1756. XII Bde. 8.

Kastner's Archiv für Physik, Chemie, Mineralogie und Physiologie. Nürnb. 1824. Wird fortgesetzt.

Französische Annalen für die allgemeine Naturgeschichte, Physik, Chemie, Physiologie u. s. w., von Pfaff und Friedländer. 1802 — 3. IV vol.

Bülletin des Neuesten und Wissenswürdigsten aus der Naturwissenschaft, von Hermbstädt. Berlin 1809 — 18.

Zeitschrift für Physik und Mathematik. Von A. Baumgartner und A. v. Ettingshausen. Wien 1816. Wird fortgesetzt.

Magazin for Naturvidenskaberne. Udgivet of Professorerne G. F. Lundh, C. Hansteen og H. H. Maschmann. Christiania 1823. Wird fortgesetzt.

Journal des Savans, Par. 1665 Bis auf die jetzige Zeit in verschiedenen Formen fortgesetzt.

Mémoires de Physique et de Chimie de la Societé d'Arcueil. Par. 1807 — 10. III vol. 8.

Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts par Rozier. Par. 1771. Fortgesetzt als Journal de physique, de chimie et d'histoire naturelle von de la Metherie, seit 1818 von Blainville, im Ganzen XCVI vol. 4.

Annales de chimie cet. Par. 1789 — 1815. XCVI vol. 8vo. Fortgesetzt in

Annales de chimie et de physique par Gay-Lussac et Arago. 1816. Wird fortgesetzt.

Annales générales des Sciences physiques, par MM. Bory de St Vincent, Drapier et Van Mons. Bruxelles 1819.

Bulletin des Sciences mathematiques, physiques et chimiques. Publié sous la direction de M. Le Bar. de Ferussac. Par. 1823. Wird fortgesetzt.

Memorie di matematica e fisica della Societa Italiana. Verona 1782. Wird fortgesetzt.

Brugnatelli giornale di fisica, chimica e storia naturale cet. Pavia 1808. Wird fortgesetzt.

Tilloch's philosophical magazine. London 1798.

Annals of Philosophy. London 1800. Beide leztern fortgesetzt bis 1826, dann unter dem gemeinschaftlichen Titel Philos. Mag. and Annals of Phil. vereint. Jährlich erscheinen XII Hefte für II vol.

Nicholson's Journal of natural philosophy, Chemistry, and the Arts. Seit 1796 — 1801. V vol. 4.

Edinburgh philosophical Journal. Conducted by Dr. Brewster and Prof. Jameson. Edinburgh 1819—1826. XIV Bde. Fortgesetzt in

Edinburgh New philosophical Journal. Von 1826 drei Hefte, dann jährlich vier. Wird fortgesetzt.

Edinburgh Journal of Science cet. Conducted by Dav. Brewster. Heft 1 u. 2 von 1824, dann jährlich vier. Wird fortgesetzt.

The quarterly Journal of Science, Literature and Art. Lond. 1817. Bis 1827 zusammen XLIV Nummern. Von da an New Series, bis jezt VI Nummern.

Silliman American Journal of Sciences and Arts. Seit 1821 bis jetzt XIII vol. 8. Wird fortgesetzt.

Unter den vielen Schriften der gelehrten Gesellschaften sind folgende die vorzüglichsten:

Philosophical Transactions cet. Lond. 1665—1791. Zusammen LXXXI Bde. 4, dann for the year 1792 und so fort für jedes Jahr 1 bis 3 Bde.

Essays and observations, physical and literary; of a Society in Edinburgh 1754—1761. III vol. 8.

Transactions of the Royal Society of Edinburgh 1788. Wird fortgesetzt.

Memoirs of the literary and philosophical society of Manchester. 1ster Th. Warrington 1785.

Transactions of the Royal Irish academy. Dublin 1787—89. III vol. 4., wozu noch ein vierter gekommen.

Transactions of the American philosophical Society for promoting usefull knowledge. Philad. 1771. 4. Wird fortgesetzt.

Memoirs of the American academy of arts and sciences. Boston 1785. 4.

Histoire et mèmoires de l'Académie royale des sciences. Von 1666 bis 1790 CIII vol. 4. Dazu gehören:

Recueil des pièces qui ont remporté le prix. Par. 1721—1771. IX vol. 4.

Mémoires de mathématiques et de physique presentés à l'Académie. 1750. XI vol. 4.

Machines et inventions approuvées par l'Académie. 1735—1777. VII vol. 4.

Mémoires de l'Institut national des Sciences es Arts. An IV de la Republique bis 1811 XIV vol. 4. Dazu gehören:

Mémoires présentés à l'Institut cet. 1805—1811. II T. 4. desgleichen:

Base du systéme métrique. Par. 1806. III T. 4.
Mémoires de la Classe des Sciences mathématiques et physiques de l'Institut Impérial de France. Par. 1814 u. 1818. II vol. 4.
Mémoires de l'Académie Royale des Sciences. Par. 1818 — 1827. VIII vol. 4.
Bibliothèque Britannique etc. Bis 1816 LX vol. 8. Fortgesetzt als Bibliothèque universelle. Sciences et Arts. Von 1816 bis jetzt XXXVIII vol. 8.
Memorias da Academia Real das Sciencias de Lisboa. 1781 — 1788. I vol. Fol.
Memorias de Mathematica e Physica da Academia Real das Sciencias de Lisboa. T. II u. III. 1799 — 1812. Fol.
Historia e Memorias da Academia Real das Sciencias de Lisboa. T. IV — X. 1815 — 1827. Fol.
Miscellanea Berolinensia. Berl. 1710 — 1743. VII vol. 4.
Histoire et mémoires de l'Académie royale des sciences et belles Lettres de Berlin. 1746 — 1771. XXV vol. 4.
Nouveaux mémoires de l'Académie royale de Berlin. 1770 — 1787. XVI vol. 4.
Mémoires de l'Academie royale de Berlin. 1792.
Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften von 1794 bis 1827.
Commentarii academiae Petropolitanae. Petrop. 1726 — 52. XIV vol. 4.
Novi commentarii acad. Petrop. 1750 — 1776. XX vol. 4.
Acta acad. Petrop. 1777 — 82. VI vol. 4.
Nova acta Acad. Petrop. 1783 — 1806. XV vol. 4.
Mémoires de l'Acad Imp des Sc. de St. Petersb. 1809. Wird fortgesetzt. Bis jetzt X vol. 4.
Saggi di naturali esperienze fatte nel' academia del Cimento. Flor. 1667. 1691.
Nuovi Saggi della Cesareo-Regia Accademia di Scienze Lettere ed Arti di Padova. Pad. 1817. 4.
Commentarii de Bononiensi scientiarum et artium instituto atque academia. Bononiae 1748 — 1783. VI vol. 4.
Miscellanea philosophico-mathematica soc. priv. Taurinensis. 1759; und Melanges de la Soc. roy. de Turin. 1761 — 1776. V vol. 4.
Mémoires de l'Académie de Turin. V vol. 4.
Mémoires de l'Acad. des Sc. Lit. et Beaux-Arts de Turin. Sciences phys. et math. Turin 1802 — 1811. IV vol. 4.
Commentarii soc. reg. scient. Gott. 1752 — 1755. IV vol. 4.
Novi commentarii soc. Gott. 1769 — 1778. VIII vol. 4.

Commentationes soc. Gott. 1778 — 1808. XVI T. 4.
Commentationes Soc. Reg. Sc. Gott. recent. 1808 — 1827. VI vol. 4.
Abhandlungen der Beierischen Academie d. Wissenschaften. München 1763 — 1776 X vol. 4.
Neue philosophische Abhandlungen der Baierschen Academie d. Wissenschaften. III vol. 4.
Denkschriften der Kön. Academie d. Wissensch. zu München. 1808 — 27. VIII vol. 4.
Historia et Commentationes academiae scientiarum et elegantiorum literarum Theodoro-Palatinae. Manh 1776 — 90. Physica. VI vol. 4.
Ephemerides Societatis meteorologicae Palatinae. 1781 — 92. X vol 4.
Acta literaria Succiae. Upsal. 1720 — 39. IV vol. 4.
Acta societatis regiae Upsaliensis. Ups. 1744 — 51. V vol. 4.
Nova acta Soc. Upsal. Ups. 1773.
Kongl. Svenska vetenskaps academiens-handlinger. Seit 1740.
Abhandlungen der Königl. Schwed. Academie. Uebers. von A. G Kästner u. a. Hamb. 1749 ff. XL vol. 8. Neue Abh. Seit 1780.
Skrifter, som udi det Kiobenhavnske Selshab ere Fremlagde. 1745 — 1779. XII vol. 4.
Nye Samling af det kongelige Danske videnskabers selskabs skrifter. Kopenh. Seit 1781 — 99 V T. 4.
Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Skrivter. Kiöb. 1801 — 18. VI vol. 4.
Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs naturvidenskabelige og mathematiske Afhandlinger. Kiöb. 1824 u. 26. Bis jetzt II T. 4.
Trondhiemske selskabs skrifter. Kopenh. 1761 — 1774. Vol 1 — 3.
Det Kongelige Norske videnskabers selskabs skrifter Kopenh. 1768 — 74 Vol. 4 u. 5. Nye Samling af det Kongelige Norske videnskabers selskabs skrifter. Copenh. 1784.

Hieran läfst sich reihen die grofse

Encyclopaedia Britannica Edinb. 1797. XVIII vol. 4. mit vielen Supplementbänden.
Rees Cyclopaedia. XLIX vol. 4. Lond. 1819.

Für die Geschichte ist:

Geschichte d Physik seit der Wiederherstellung der Künste und Wissenschaften bis auf die neuesten Zeiten, von J. C. Fischer. Gött. 1801 — 1808. VIII vol. 8.

I. Von der Materie überhaupt.

§. 9.

Natur, als das *Object* unserer Untersuchung, heifst der Inbegriff alles dessen, was in die Sinne fällt. Wir unterscheiden dabei Materie und Kraft, und nennen das durch die Sinne Erkennbare, was den Raum erfüllt, Materie, indem wir es von dem Denkenden, dem Geiste oder dem forschenden und begreifenden *Subjecte* sowohl, als auch von einer hervorgebrachten Wirkung, und den, die Wirkungen hervorbringenden, Kräften unterscheiden.

Für den Physiker, insofern er die allgemeinen und besonderen Gesetze der Natur und ihrer Erscheinungen erforschen will, ist die Materie das Gegebene aufser uns, zu deren Grundbestimmung weder aus dem denkenden Geiste, noch aus dem abstracten Begriffe derselben etwas entnommen werden kann, weil einem jeden Menschen der Begriff der Materie durch äufsere Anschauung früher gegeben ist, als er über das Wesen derselben nachzudenken beginnt.

Einige Physiker wollen alle speculativen Untersuchungen aus der Naturlehre verbannen und das Studium derselben blofs auf Beobachtungen zurückführen, wodurch dasselbe aber den wissenschaftlichen Charakter verlieren würde. Die gesuchten Naturgesetze können nämlich blofs durch naturphilosophische Speculation aus den Erfahrungen abstrahirt und auf dieselben gegründet werden.

§. 10.

Bei der Materie, als dem aufser uns liegenden, unserer Erkenntnifs gegebenen Objecte, kann sich der Physiker füglich der Mühe überheben, zu fragen, wie und woher sie ihre Existenz habe, ob durch sich selbst oder durch gewisse Kräfte u. s. w. Wohl aber müssen

wir die Frage aufwerfen, ob allen Körpern nur *eine* Materie zum Grunde liege (welche sich unsern Sinnen dann unter mannigfaltigen Modificationen zeigen müfste), imgleichen ob wir alle (an sich verschiedene oder verschieden modificirte) Materie erkannt haben oder überhaupt zu erkennen vermögen.

Die metaphysischen Speculationen über das eigentliche Wesen der Materie, die Bedingungen ihrer Existenz, die Möglichkeit ihres Erkanntwerdens, die objective Realität des sinnlich Wahrgenommenen u. s. w. gehören zwar zunächst in die Schule der speculativen Philosophie, und die Physiker des Auslandes haben in den neuesten Zeiten, wo die Naturwissenschaften durch die glänzendsten Entdeckungen von ihnen bereichert sind, diese Frage fast gänzlich vernachläfsigt. Inzwischen hat der Physiker, insofern er zugleich Philosoph seyn und das Object der Untersuchung besser kennen mufs, als dieses dem speculativen Philosophen nach der Art ihrer beiderseitigen Beschäftigungen möglich seyn kann, allerdings das Recht, auch hierauf sich einzulassen, wie dieses denn in Deutschland in den lezteren Zeiten oft geschehen ist. Die Veranlassung dazu gab vorzüglich Immanuel Kant, indem er zu beweisen suchte, dafs die Existenz der Materie durch zwei Kräfte, die Dehnkraft und Ziehkraft bedingt sey [1]. Gleich anfangs von Vielen mifsverstanden, sagt er selbst weiter nichts, als dafs die Materie (das aufser uns schon Gegebene, schon Bestehende) nicht bestehen (nicht seyn, keine wirkliche Existenz haben) könne, ohne ein gewisses Verhältnifs dieser beiden Kräfte. Bei dem *Beweise* dieses Satzes ist indefs nicht zu verkennen

1) dafs die Sprache der Mathematik zwar usurpirt, eigentlich aber eine blofs metaphysische Speculation gegeben wird. Der Geometer bezeichnet die Differenz zweier entgegenwirkender Kräfte durch einen bestimmten Ausdruck des Effects, und sieht dabei das Unendliche als aufser den Grenzen der Messung liegend an. Kant dagegen, ohne die Gröfse gegebener Kräfte zu messen, will die Nothwendigkeit derselben aus Erfolgen beweisen, welche überall kein Gegenstand der Wahrnehmung, vielweniger der geometrischen Messung sind.

---

[1]) S. metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft. 3te Auflage. Leipz. 1800.

2) Daſs das Ganze demnächst nicht in den Grenzen allgemeiner Principien gehalten, sondern zugleich auf ein Beispiel gebauet wird, wobei der Fehlschluſs a particulari ad universale wenigstens in der Anlage einen Einfluſs hat. Wenn zur Erklärung der beiden Kräfte die Zusammendrückung der Luft in einem Luftpumpenstiefel gewählt wird, so führt der eigentliche Charakter derselben, die Expansibilität, irre. Setzen wir statt Luft, Wasser, oder Glas, welche durch endliche Kräfte nur unmerklich oder gar nicht zusammengedrückt werden können und gar kein Bestreben der Ausdehnung, auſser durch Wärme, zeigen, so entdeckt man sogleich eine gewisse Lahmheit der Schluſsfolge. Berücksichtigen wir aber, daſs die festen Körper an sich (ohne Hinzukommen der Inponderabilien) kein Bestreben zeigen, sich auszudehnen, daſs die Inponderabilien dagegen an sich und ohne Hinzukommen der Ponderabilien nicht gegen einander, und oft nicht erweislich gegen Ponderabilien gravitiren, auch daſs namentlich das Licht aller Erfahrung zu Folge und in Gemäſsheit der unendlichen Menge von Lichtquellen, und insbesondere, wenn man die Erscheinungen desselben von einem allgemein verbreiteten Aether ableitet, den meſsbaren Raum überall erfüllt, ohne daſs man dieser Potenz in Gemäſsheit ihrer Aeuſserungen eine Dehnkraft beizulegen berechtigt wäre, erwägen wir endlich, daſs es noch gar nicht ausgemacht ist, ob wir wirklich schon alles, was Materie heiſsen muſs, erkannt und unsere Definition derselben danach gebildet haben, so folgt, daſs die beiden Kräfte auf die durch Kant versuchte Weise nicht aus der Erfahrung abstrahirt werden können, und folglich aus dem abstracten Begriffe einer a priori zu erkennenden Materie (welcher übrigens die a posteriori erkannte nicht untergeschoben werden darf) deducirt werden müſsten, ein Unternehmen, woran der menschliche Verstand eben nach Kantischen Principien scheitern muſs.

3) daſs eben daher diese abstracte Demonstration einen unverkennbaren Widerspruch enthält, wodurch der Zusammenhang auffallend unterbrochen wird. Der Beweis des 3ten Lehrsatzes p. 31 heiſst wörtlich: »*Nun kann für gegebene ausdehnende Kraft der Materie eine gröſsere zusammendrückende gefunden werden*, die diese in einen engeren »Raum zwingt, und so *ins Unendliche*; welches das Erste »war. Zum Durchdringen der Materie aber würde ein Zusammentreiben derselben in einen unendlich kleinen Raum, »mithin *eine unendlich zusammendrückende Kraft erfordert*,

»welche unmöglich ist.« Da nun eine *ins Unendliche* gröſsere zusammendrückende Kraft mit einer *unendlich* zusammendrückenden offenbar identisch ist, so schlieſsen diese acht Zeilen einen mit den nämlichen Worten ausgedrückten Widerspruch in sich, welcher nicht eher aufgehoben werden kann, bis jemand den Unterschied zwischen den vorliegenden Ausdrücken nachweiset, oder darthut, daſs etwas Unmögliches doch gefunden werden könne.

Inzwischen schlieſst die Annahme zweier, sich einander limitirender, die Existenz der Materie im Raume bedingender, im directen Verhältnisse der Gegenwirkung wachsender Kräfte, keinen inneren Widerspruch in sich [1]), und es ist zugleich unerläſslich, beide anzunehmen, wenn wir einräumen, daſs eine derselben als solche existirend und unbegrenzt wirksam durch bloſse Speculation erwiesen werden könnte, welches aber eben aus den angeführten Gründen unmöglich ist.

Die Anhänger Kant's, durch den seltenen Scharfsinn und die ausgebreiteten Kenntnisse dieses Reformators der Philosophie, die Bestimmtheit seiner Sprache und den anscheinend systematischen Zusammenhang dieser seiner mit ungewöhnlicher Dreistigkeit dargelegten Demonstration geblendet, griffen begierig die Behauptung dieser zwei Grundkräfte auf, modificirten die Theorie aber dahin, daſs sie annahmen, alle Erscheinungen in der Natur, und alle Veränderungen in der Körperwelt beruheten auf denselben und ihrem Conflicte, wodurch nothwendig die Begriffe von Materie und Kraft, als dem Bewegten und dem Bewegenden verwirrt werden muſsten.

Uebrigens wird die Existenz dieser beiden Kräfte und das Vorhandenseyn von Wirkungen derselben bei verschiedenen Phänomenen schwerlich von irgend einem Physiker geleugnet. Wenn man aber annimmt, die Materie selbst sey das Product derselben und gehe wieder in dieselben über, und die mannigfaltigen Naturerscheinungen seyen bloſs Folgen eines Conflictes dieser beiden Kräfte, indem namentlich bald die eine bald die andere ein Uebergewicht erhalte, wodurch dann die endlose Mannigfaltigkeit der Phänomene bedingt werde, so nennt man dieses die dynamische Bearbeitung oder dynamische Theorie der Naturlehre. Manche Physiker, welche noch jetzt dieser den Vorzug einräumen, scheinen mir die Schluſsfolgerungen,

[1]) S. Neumann Handb. I. 15.

wozu dieselbe nothwendig führt, weder insgesamt noch mit gehöriger Klarheit sich vergegenwärtigt zu haben. Zuerst hebt dieselbe nämlich allen Unterschied der Materie auf, weil alles Materielle wieder in die beiden Kräfte zurückkehrt, woraus es entstanden ist, ein Einwurf, welchen sich einer der ersten und eifrigsten Anhänger dieser Theorie, Hildebrandt, selbst gemacht hat, indem er am Schlusse seiner dynamischen Naturlehre [1]) sagt: »Wenn wir es nicht »ganz aufgeben wollen, die Verschiedenheit der Materie »zu erklären, so können wir kaum vermeiden, uns in die »Atomistik zu verirren«. Unbegreiflich ist es dann, warum die einfachen Stoffe der Chemiker stets ihre wesentlichen Eigenschaften beibehalten. Man mag z. B. eine gegebene Quantität Gold mit hundert und mehr andern Stoffen nacheinander verbinden und die Verbindungen den vielfachsten Einwirkungen unterwerfen, stets wird man die nämliche Menge Gold nach Quantität und Qualität wieder darstellen können. Es bleibt also die Frage ganz unbeantwortet, warum nie die vorhandenen einfachen Stoffe in einander übergehen, neu entstehen oder verschwinden. Eben so wenig giebt diese Theorie die mindeste Auskunft, welche die dritte bedingende Kraft ist, durch deren Einfluſs die beiden Kräfte in ungleichen Conflict gekommen sind und noch kommen, um die bestehenden verschiedenen materiellen Substanzen nebst ihren unausgesetzten Veränderungen zu erzeugen und zu modificiren. Unmöglich kann weder den beiden Kräften selbst ein gewisser Wille beigelegt, noch auch alles dem Zufalle überlassen oder endlich eine gewisse von Ewigkeit her stattfindende Anordnung aller vorkommenden Veränderungen angenommen werden. Vollends ganz unbefriedigt läſst aber diese Hypothese den genauen Forscher, wenn er den rationalen Zusammenhang zwischen der angegebenen Ursache und den beobachteten Erscheinungen aufzufinden sich bemüht, oder eine klare Vorstellung sucht, in wie fern ein Uebergewicht oder ein Mangel der einen oder andern dieser Kräfte die verschiedenen materiellen Substanzen modificiren, ihre Veränderungen bedingen, und die mannigfaltigen Naturerscheinungen hervorrufen könne.

Der dynamischen Theorie entgegen steht die atomistische oder die sogenannte Corpuscularphilosophie, welche

---

[1]) Anfangsgründe der dynamischen Naturlehre. II. vol. 8. Erlangen 1807. II. pag. 983.

indefs gegenwärtig etwas ganz anderes ist, als dasjenige, was man in den früheren Zeiten unter diesem Namen verstand, so dafs man es also eine sophistische Ungerechtigkeit nennen mufs, wenn man ihr diejenigen Vorwürfe macht, welche jenen älteren Hypothesen entgegenstanden. Damals wollte man nämlich durch Speculation beweisen, dafs es Atome geben müsse, und suchte dann aus den apriorisch festgesetzten Qualitäten derselben die Naturerscheinungen zu erklären. Nach einem gerade umgekehrten Verfahren nimmt man jetzt die Materie als das durch die Erfahrung Gegebene, und hält sich genau an dasjenige, was die leztere darbietet. Für den strengen Dynamiker, deren es übrigens unter den eigentlichen Physikern nicht mehr giebt, müfsten Beobachtungen und Versuche ganz überflüssig seyn, in sofern er die lezte Ursache aller Erscheinungen schon zu kennen vermeint; für den Atomistiker sind sie aber ganz unentbehrlich, weil er aus der Erfahrung nicht blofs die Materie selbst, und die individuellen, ihre Gesammtheit bildenden Stoffe, sondern auch die Gesetze ihrer Modificationen und Veränderungen kennen lernen will. Nicht blofs ungerecht, sondern auch wahrhaft lächerlich ist der Einwurf, welchen man zuweilen der Atomistik gemacht hat, als wenn sie überall blofs Stoffe, und nicht zugleich Kräfte annehmen müsse, gerade als ob die Annahme eines materiellen Körpers die Existenz einer ihn belebenden Kraft oder ihm einwohnenden Seele ausschlösse. Allerdings nimmt der Atomist auch Kräfte an, aber blofs solche, für deren Existenz die Erfahrung Beweise liefert, und somit auch eine anziehende und eine abstofsende Kraft, von welcher Art und in so weit die Erklärung der Phänomene diese fordert. Auf dem Wege der Erfahrung mufs dann der Physiker nothwendig auf Atome kommen, wenn er nicht, durch Phantasie verleitet, mehr bestimmt, als durch jene und die unmittelbar darauf gebaueten Schlüsse gegeben ist, und sich hiernach aus dem Gebiete der Naturforschung in das der Dichtung verirrt. Alle mefsbare Körper nämlich lassen sich theilen, und viele derselben mit Beibehaltung gewisser, ihnen eigenthümlicher Formen. Diese Theilung läfst sich bei allen, sowohl durch mechanische als auch durch chemische Mittel so weit fortsetzen, dafs weder die Gröfse noch auch die Form dieser Theile weiter erkennbar bleibt, selbst wenn man sie mit Hülfe tausendfach vergröfsernder Werkzeuge betrachtet. Diese Theilchen also, zu denen man auf dem Wege der

Versuche gelangt, sind physisch unendlich klein, hiernach physisch keiner weiteren Theilung fähig, und somit für den Naturforscher wirkliche Atome, ohne dafs man sie im geometrischen Sinne des Ausdrucks unendlich klein nennen darf; denn das geometrisch Unendlichkleine läfst sich nicht summiren, und so könnte also aus den Theilchen nicht wieder rückwärts ein mefsbarer Körper erhalten werden, was gegen die Erfahrung streitet. Die Theilchen müssen aber die wesentlichen Qualitäten der gröfseren Körper, aus denen sie erhalten wurden, beibehalten, weil die lezteren aus jenen wieder hergestellt werden können. Der Atomist geht also in seinen Bestimmungen über das Wesen und die Eigenschaften der Materie, so wie über die Kräfte, welche die vielfachen Veränderungen bewirken, und die Gesetze, wonach diese erfolgen, keinen Schritt weiter, als wohin die Erfahrung reicht, und wenn im Einzelnen von den Gestalten dieser Elemente die Rede ist, so haben wir dieses blofs als Versuche des combinirenden Scharfsinnes anzusehen, ob die Formen der Körper und ihre Erscheinungen sich auf gewisse Formen der Elemente zurückbringen lassen, welche indefs blofs für hypothetisch ausgegeben werden, und wobei man sich noch aufserdem der Zahlen bedient, durch welche der Ausdruck des der klaren Vorstellung entschwindenden physisch Unendlichkleinen allerdings möglich ist.

Dieser Weg der Naturforschung ist allerdings mühsam, allein von der Erfahrung ausgehend, führt er zu deutlich erkannten und sichern Resultaten, welche, aus lezterer entnommen, auf ebendieselbe wieder eine Anwendung leiden. Man konnte zwar bisher noch nicht auffinden, was die Materie an sich ihrem Wesen nach sey, auch wissen wir nicht im ganzen Umfange, welche Kräfte in der Natur thätig sind, und nach welchen Gesetzen sie wirken; allein was die Erfahrung hierüber darbietet, ist in einem hohen Grade der Vollständigkeit bekannt, und wird durch fortgesetzte Bemühungen täglich besser ergründet. Allerdings schmeichelt es der Eitelkeit, wenn man die Vorstellung in sich und andern erzeugt, als werde das Wesen aller Erscheinungen in der Natur durch die Annahme zweier Kräfte völlig erkannt; genau genommen hat indefs noch niemand die Phänomene und ihre Gesetze hieraus entwickelt, vielmehr bleiben beide in der streng dynamischen Naturlehre nur hohl tönende Schau-Namen zur Vermeidung des Bekenntnisses der Unvollkommenheit unseres Wissens vom eigentlichen Wesen der Dinge, und was sie Reelles aufzu-

weisen hat, ist insgesammt aus der atomistischen Physik entlehnt.

Dafs nur eine einzige homogene Materie allen Naturkörpern zum Grunde liegen solle, ist unmöglich, weil das Einfache nicht in veränderten Modificationen erscheinen kann, ohne ein neu hinzukommendes bedingendes Mittel. Ob dieses nun verschiedene Kräfte sind, wie einige annehmen wollen, wird unten näher untersucht werden.

Wir haben mehrere Gründe zu glauben, dafs wir nicht alles, was Materie genannt werden mufs, mit unserer Kenntnifs umfassen. Hierauf führen aufser der wahrscheinlichen Unendlichkeit der Natur mehrere Analogieen. Die ansteckenden Miasmen sind bis jetzt noch nicht sicher dargestellt, die Elektricität würde ohne die isolirende Kraft der Luft und das Licht ohne den Sinn des Gesichtes nicht wahrgenommen seyn, und aufserdem werden noch von Zeit zu Zeit neue, vorher ganz unbekannte Stoffe entdeckt, u.s.w.

§. 11.

Die Materie ist in eben dem Sinne das Raumerfüllende, als der Raum, welchen der Geometer mifst, ein leerer Raum ist. In Hinsicht auf diese Raumerfüllung müssen *Ausdehnung* und *Undurchdringlichkeit* das Wesen derselben bezeichnen, obgleich der Raum, den sie einnimmt, oft unmefsbar klein, und ihre Undurchdringlichkeit durch höchste Feinheit und Flüssigkeit verschwindend wird, so dafs beide nicht ferner ein Gegenstand unserer Messung und Wahrnehmung bleiben.

Man hat von jeher, jedoch blofs in der Abstraction, den Raum, als das Begrenzende, von der den Raum erfüllenden Materie, oder dem Körper, als dem Begrenzten im Raume, richtig unterschieden. Die Frage, ob es einen leeren Raum gebe, konnte blofs damals aufgeworfen werden, als man wegen mangelhafter Kenntnifs der Natur, und irre geleitet durch die falsche Theorie der vier Elemente, glaubte, alle Materie und in allen ihren Qualitäten schon erkannt zu haben. Dafs man übrigens in der Abstraction den leeren Raum von dem erfüllten trennen könne, ist unbestreitbar, da man eine Grenze, abgesondert von dem Begrenzten sich vorzustellen vermag. So wie aber nach

dem Gesetze der Stetigkeit der Raum vom unendlich Grofsen bis zum unendlich Kleinen veränderlich ist, so mufs die Materie an sich und wie sie in den Körpern gegeben ist, vom unendlich Grofsen bis zum unendlich Kleinen verschieden seyn. Weil aber der endliche Verstand das Unendliche genau zu begreifen nicht vermag, so werden wir uns weder die Körperwelt in ihrem ganzen Umfange, noch die Elemente der Materie in ihren eigenthümlichen Qualitäten deutlich vorzustellen im Stande seyn. Einige Physiker, welche diese richtige Ansicht verfehlten, trugen Bedenken, Ausdehnung und Undurchdringlichkeit als allgemeine, das Wesen der Materie bezeichnende Charaktere anzuerkennen, wobei es jedoch blofs einer richtigen Bestimmung der Begriffe bedarf. Ausdehnung nämlich bezeichnet das durch die Existenz im Raume nothwendig Bedingte, den hierdurch gegebenen, von der Vorstellung der Materie unzertrennlichen Begriff des Einnehmens eines Raumes, und kann nach dem Gesetze der Stetigkeit auch da nicht aufhören, wo der Raum unmefsbar klein wird, mithin kein Gegenstand unserer deutlichen Vorstellung bleibt. Ein jeder Körper nämlich ist begrenzt, und diese Grenzen geben den geometrisch mefsbaren Raum, welchen er einnimmt oder erfüllt, in welchem er also ausgedehnt ist, und dieses Erfüllen des Raumes ist eben sein Ausgedehntseyn, welches nicht aufhört, wie klein der Raum auch wird, folglich bis zum geometrisch unendlich Kleinen, welches bekanntlich ungleich weiter entfernt ist, als bis wohin die Materie physisch mefsbar und sogar vorstellbar bleibt. Weder der Physiker noch auch der Geometer können somit die Grenze angeben, bei welcher dieses Erfüllen des Raumes oder des Ausgedehntseyns aufhört, und hiernach ist also der Begriff der Ausdehnung mit der Vorstellung von der Materie nothwendig verbunden [1]. Man hat in Deutschland seit Kant einen unfruchtbaren Wortstreit darüber geführt, ob die Materie ihren Raum durch sich selber oder durch Kräfte erfülle, indem die Anhänger der Dehnkraft und Ziehkraft die Kenntnifs der Naturgesetze dadurch zu erweitern wähnten, wenn sie jene Kräfte überall wirksam annähmen. Offenbar aber gehört jene Untersuchung gar nicht hierher, sondern zur Bestimmung vom Wesen der Materie. Die Materie nämlich erfüllt ihren Raum ohne Widerrede durch sich selbst oder durch ihre Existenz, insofern sie blofs als das

---

[1]) Vergl. J. T. Mayer in Gren Journ. VII. 208.

Ausgedehnte oder im Raume seyende vorstellbar ist. Gehören dann jene sogenannten Grundkräfte nothwendig zu ihrem Wesen, so können sie dieselbe auch bei ihrer Existenz im Raume nicht verlassen. Indem man sich aber die Materie schon lange vorgestellt hat, ehe noch an jene Kräfte gedacht wurde, so kann vernünftiger Weise nicht gefragt werden, ob sie ohne diese vorstellbar sey oder nicht. In einzelnen Fällen erscheint aber das stete Beziehen auf diese Kräfte in der That lächerlich, wenn man z. B. behaupten wollte, die Vorstellung des Raumes, welchen ein gegebener und stets unverändert bleibender Schwefelkieswürfel einnehme, sey unmöglich, ohne zugleich anzunehmen, es wirke in demselben unausgesetzt eine Kraft, welche ihn ins Unendliche auszudehnen strebe, und zugleich eine andere, welche ihn in einen unendlich kleinen Raum zusammenzudrücken das Bestreben habe, beider Gesammtwirkung sey aber durch ihren Gegensatz in Ewigkeit = o. Auf gleiche Weise müssen wir der Materie die Undurchdringlichkeit als wesentliche Eigenschaft beilegen, insofern es unmöglich ist, in demjenigen Raume, welchen ein gegebener Körper einnimmt, auch einen andern als gleichzeitig existirend zu denken. Allerdings kann eine gegebene Materie in die Zwischenräume einer andern gegebenen dringen, allein dafs der bestimmte Raum, welchen jene einnimmt, gleichzeitig von dieser eingenommen werde, dieses ist eine unmögliche Vorstellung, weil sie etwas Gesetztes zugleich wieder aufhebt [1]).

Da eine Haupt-Classe der Körper, die der wägbaren, in der Form, wie sie uns gewöhnlich erscheinen, wägbar ist, so hat man oft mit Unrecht Wägbarkeit als nothwendigen Charakter der Materie annehmen wollen. Uebrigens hat noch niemand den eigentlichen rationalen Grund der Ponderabilität angeben können, auch ist die absolute Gewichtlosigkeit der sogenannten Inponderabilien noch keineswegs erwiesen.

§. 12.

Die Materie, als solche, hat in sich selbst, nach unserer Vorstellung von derselben, keinen Grund von irgend einer Veränderung. Alles dasjenige, wodurch

[1]) Vergl. Musschenbroek Introd. I. 8. Boscovich Theor. phil. nat. §. 41; Biot Traité. I. p. 1.

eine solche hervorgebracht wird, nennen wir Kraft. Leztere können wir uns nicht für sich bestehend, sondern blofs als der Materie in der Natur, wie dem Geistigen im Menschen und in höheren Wesen eigenthümlich zugehörend vorstellen. Wir erkennen dieselbe aus ihrer Wirkung, und setzen sie dieser direct proportional.

Abstrahiren wir von der Untersuchung der Kräfte des Geistes, als der Psychologie zugehörig, aber ganz aufserhalb dem Gebiete der Naturforschung liegend, und forschen nach dem Grunde der Erscheinungen in der Natur, so entdecken wir sofort einen steten Wechsel und eine unausgesetzte Reihe von Veränderungen, deren Grund in der Materie, als solcher, nicht liegen kann, sondern den wir von derselben abgesondert betrachten, und mit dem Ausdrucke, Kraft, bezeichnen müssen. Da wir die leztere nicht an sich kennen lernen, sondern blofs aus den Wirkungen, indem wir sogar die Gröfse derselben der Stärke ihrer Wirkung proportional setzen, so erklärt sich hieraus, warum die metaphysische Ursache dieser Wirkungsfähigkeit der Materie, oder die Kraft an sich, und ihre Verbindung mit der Materie von uns eben so wenig deutlich erkannt werden kann, als die Thätigkeit der Seele und ihre Verbindung mit der Aufsenwelt durch die Organe. Und doch ist die Aufsuchung und Bestimmung dieser Kräfte der eigentliche Zweck des Studiums der Physik, worin wir noch nicht weiter gekommen sind, als dafs wir eine unglaubliche Menge von Thatsachen erkannt und systematisch geordnet haben, womit wir das Bestreben verbinden, durch Vergleichung und genaueste Prüfung derselben die Kräfte in der Natur und die Art ihrer Wirksamkeit zu erforschen. Bei der Aufsuchung und Feststellung der Kräfte, welche den Veränderungen in der Natur zum Grunde liegen, müssen wir übrigens mit grofser Behutsamkeit zu Werke gehen, und keine Kräfte als existirend annehmen, wenn sie nicht durch genügende Erfahrungen als nothwendig gegeben sind, damit wir nicht überall undeutlich erkannte oder verborgene Kräfte (qualitates occultas) unterschieben; ein Verfahren, wodurch man zwar nach dem Zeugnifs der Geschichte leicht zu erklären vermag, zugleich aber einer unabsehbaren Menge von Irrthümern das Eindringen in die Wissenschaft gestattet,

§. 13.

Die Frage, wie viele Kräfte es in der Natur giebt, fällt nach theoretischer Ansicht mit der andern zusammen, ob es mehr als eine Grundmaterie giebt. Auf dem Wege der Erfahrung könnten wir erst dann dieselbe genügend zu beantworten hoffen, wenn wir schon alles, was Materie heifst, vollkommen erkannt hätten. So lange dieses aus vorher angegebenen Gründen zweifelhaft ist, und wir noch eine Menge Erscheinungen vor uns haben, von denen wir nicht wissen, ob ihnen irgend etwas Materielles zum Grunde liege, oder woran die wirkende Ursache gebunden seyn mag, kann hierüber nicht mit Gewifsheit entschieden werden.

Aus *einer* Grundmaterie und *einer* Kraft können die vielfachen Veränderungen in der Natur nach den Regeln der Syntaktik nicht erklärt werden. Auch die Annahme von zwei entgegengesetzten Grundkräften und einer homogenen Materie führt zu einem leeren Spiele mit Worten und streitet gleichfalls gegen die Principien der Syntaktik. Je gröfser die Mannigfaltigkeit der Grundstoffe gefunden, und je verschiedener dieselben in ihren wesentlichen Qualitäten erkannt werden, um so geringer kann die Zahl der wirkenden Grundkräfte angenommen werden.

Auf dem Wege der Erfahrung zeigen sich aber gleichfalls unübersteigliche Hindernisse, welche hauptsächlich aus zwei Ursachen erwachsen; erstlich daraus, dafs wir das eigentliche Wesen der Inponderabilien und ihren charakteristischen Unterschied von den Ponderabilien noch nicht zu erforschen vermochten, und zweitens, dafs wir nicht wissen können, ob wir alles, was Materie und materieller Stoff ist, schon wirklich erkannt haben, oder überhaupt kennen zu lernen vermögen. Wir kennen daher eine Menge Wirkungen, namentlich diejenigen, welche der Physiologie angehören, deren Ursachen noch in ein undurchdringliches Dunkel gehüllt sind.

Einige Kräfte, welche man mechanische nennen könnte, so wie auch die chemischen und andere, sind zwar nicht ihrem Wesen nach, wohl aber nach ihren Wirkungen sehr genau bekannt, und die Gesetze ihrer Wirkungsweise werden meistens in einem analytischen Ausdrucke bestimmt

angegeben; z. B. die Gesetze der Ausdehnung durch Wärme, der elektrischen und magnetischen Abstofsung des Quantitativen der chemischen Verbindungen u. s. w. Am wenigsten deutlich erkannt sind die Kräfte, welche das Leben und die Bewegungen organischer Körper bedingen, und welche man Lebenskräfte, oder unter Voraussetzung von einer einzigen allgemeinen, auch Lebenskraft nennt. Die Physiologen, für welche die Untersuchung derselben gehört, sind noch nicht einig darüber, ob sie für sich existiren können, oder stets an die belebte (oder nur organische) Materie gebunden sind [1]).

§. 14.

Eine unverkennbare, wahrscheinlich im Wesen aller Materie gegründete, oder nothwendig damit verbundene, allgemeine Kraft derselben ist die Attraction. Aus ihr läfst sich mit ziemlicher Zuverlässigkeit die Gravitation, die Cohäsion, Adhäsion und Affinität, als Modificationen derselben, ableiten.

Diese Kraft ist allgemein aller Materie zukommend, und es ist noch keine gefunden, welche derselben nicht in einer oder der andern Modification unterworfen wäre. Sie geht durch das ganze Universum, und zeigt sich wirksam im Grofsen wie im Kleinen. Wirkt sie in die Entfernung, so nennen wir sie Gravitation oder Schwere. Als solche ist sie der Grund aller Bewegung der Himmelskörper, ist den Massen direct, den Quadraten der Entfernungen umgekehrt proportional, und heifst dann nach ihrem Erfinder die Newton'sche Attraction. Ob den Himmelskörpern blofs diese, oder noch eine chemische Anziehung zukomme, ist zweifelhaft [2]). Ihre Allgemeinheit ist erwiesen durch die Beobachtungen über die Anziehung grofser Gebirgsmassen durch Bouguer, Maskeline und v. Zach [3]), die Versuche von Cavendish mit der Drehwaage [4]) u. a. m. Einige

---

[1]) Vergl. Treviranus Biologie. IV. 631. Brandis Versuch über die Lebenskraft. Hannov. 1795. 8. Rudolphi Physiologie. I. 248.

[2]) S. J. T. Mayer de affin. chem. corp. coel. in Comm. Soc. reg. Scient.

[3]) S. La figure de la terre determinée cet. par M. Bouguer. Par. 1791. 4to. Phil. trans. for 1775 u. 1778. Desgl. 1811. P. II, De Zach: l'Attraction des Montagnes cet. 1814. II vol. 8. I. 353.

[4]) Phil. Trans. LXXXVIII. 469. Daraus in Gilb. Ann. II. 1 ff.

Astronomen [1]) wollen auch gefunden haben, dafs die Gewichte astronomischer Uhren den Gang der Pendel afficiren, wenn sie in die Nähe ihrer Linsen kommen, welches sie dann einer gegenseitigen Anziehung beider zuschreiben; Gauss [2]) widerspricht aber dieser Behauptung. Nach den Beobachtungen, welche ich selbst hierüber, namentlich an einer astronomischen Uhr von Liebherr, angestellt habe, ist die Kraft der Anziehung zwischen dem Gewichte und der Linse zu geringe, um die angegebene Wirkung hervorzubringen. Die Störung findet indefs zuweilen allerdings statt, aber als Folge von Oscillationen, in welche das Gewicht versetzt wird, und welche die des Pendels aufheben, wenn die Uhr nicht hinlänglich stark an einer unbeweglichen Wand befestigt ist. Das Phänomen gehört also unter die Mittheilung der Bewegung.

§. 15.

Weit weniger läfst sich mit Gewifsheit bestimmen, ob der verschiedene Zustand der Körper, wonach sie bald als fest, bald als flüssig, und zuweilen als tropfbar- oder elastisch-flüssig erscheinen, aus entgegenwirkenden Kräften oder aus der absoluten Repulsion der Wärme, oder aus einer eigenthümlichen Qualität der constituirenden Bestandtheile, oder endlich aus diesen und anderen vereinten Ursachen abzuleiten sey.

Fest und flüssig sind relative Begriffe, lassen sich aber in den Extremen sehr wohl unterscheiden. Dafs es viele Körper giebt, deren Flüssigkeit dem Einflusse der Wärme proportional ist, scheint in dieser lezteren das die Flüssigkeit bedingende Princip zu zeigen, wofür auch der Umstand spricht, dafs kein fester Körper den höchsten Graden der Hitze völlig widersteht. Nach La Place [3]) hängt die Aggregatform der Körper, ob sie fest, flüssig oder gasförmig sind, davon ab, dafs jedes Molecül eines Körpers dem Conflicte dreier Kräfte unterworfen ist, zuerst der

---

[1]) S. Astronomie von J. G. F. Bohnenberger. Tüb. 1811. p. 497. Gilb. Ann. II. 65.

[2]) Gött. gel. Anz. 1818. p. 1267.

[3]) Annal. de Chim. et de Phys. XXI. 22.

Anziehung der umgebenden Molecülen, zweitens der Anziehung des Wärmestoffes jener Molecülen, drittens der Repulsion seines Wärmestoffes durch den Wärmestoff jener Molecülen, indem jene beiden Vereinigung bewirken, die leztere Trennung. Diese Hypothese läfst sich mit grofser Consequenz durchführen, und hat daher viele Anhänger [1]) gefunden, obgleich damit der Umstand im Widerspruche zu stehen scheint, dafs namentlich der Schwefel durch Wärme erst flüssig wird, und bei höherer Temperatur wieder fest. Indem ferner manche Körper durch ihre Verbindung ohne Temperaturveränderung sogleich fest oder flüssig werden, so scheint die Ursache dieses Zustandes der Körper in einer eigenthümlichen gegenseitigen Anziehung ihrer Bestandtheile gegen einander und gegen die Wärme zu liegen, was übrigens gegen La Place's Hypothese nicht streitet. Z. B. Ammoniak wird durch Wasser liquide, durch Kohlensäure fest. Ein Mafs Fluorborongas mit zwei Mafs Ammoniakgas wird tropfbar-flüssig, gleiche Mafse von beiden vereinigt werden fest. Eine Verbindung von Schwefelsäure mit einer gesättigten Solution von kaustischem Natron krystallisirt nach dem Erkalten und liefert feste Krystalle.

Man kannte zwar schon in früheren Zeiten einige Erscheinungen, wonach gasförmige Flüssigkeiten einem mechanischen Drucke nicht zu widerstehen, und dem bekannten Mariotteschen Gesetze nicht zu folgen scheinen [2]), neuerdings aber ist diese Sache über allen Zweifel erhoben. Zuerst machte Cagniard de la Tour [3]) bekannt, dafs er Aether in umgebogenen Glasröhren, welche an beiden Enden verschlossen waren, bei 150° C. und unter einem Drucke von 37,5 Atmosphäre in den Zustand der Expansion gebracht habe. Seine Versuche mit diesen und andern Flüssigkeiten verdienen aber erst eine genauere Prüfung. Desto schätzbarer ist, was Faraday [4]) auffand, nämlich dafs

[1]) Biot Traité. I. chap. XII.

[2]) Faraday zählt diese älteren Versuche auf. S. Schweigg. Journ. N. F. XIII. 210.

[3]) Ann. de Chim. et de Phys. XXI. 127 u. 178. XXII. 411.

[4]) Phil. Trans. 1823. p. 160 u. 183. Ann. de Chim. et de Phys. XXIV. 396 u. 403.

Schweflichsaures Gas	bei	7,°2 C.	unter		3,0	Atmosphären
Schwefelwasserstoffgas	—	10,0	—	—	17,0	—
Kohlensaures Gas	—	0,0	—	—	36,0	—
Stickoxyd	—	7,2	—	—	50,0	—
Cyanogen	—	7,2	—	—	3,7	—
Ammoniakgas	—	10,0	—	—	6,5	—
Salzsaures Gas ...	—	10,0	—	—	50,0	—
Chlor	—	15,5	—	—	4,0	—

tropfbar-flüssig werden. Vermuthlich werden alle Gasarten unter gehörigem Drucke tropfbar-flüssig, minder wahrscheinlich tropfbare Flüssigkeiten fest; allein durch die Erfahrung ist dieses noch nicht erwiesen Perkins [1]) will in einem eigenen, Piezometer genannten, Apparate auch atmosphärische Luft unter einem Drucke von 1200 Atmosphären tropfbar-flüssig gemacht haben; allein seine Angaben sind noch nicht über allen Zweifel erhaben [2]), so wahrscheinlich die Sache im Allgemeinen ist. Liquides, kohlensaures Kali und salzsaurer Kalk werden bei ihrer Vereinigung fest.

§. 16.

Man nennt die Materie theilbar. Genau genommen kann gesagt werden, dafs alle Körper, mögen sie in fester, tropfbar-flüssiger oder expansibler Gestalt erscheinen, theilbar sind, und zwar in der Art, dafs die Kleinheit der Theile über jede, bis jetzt versuchte, Messung hinausgeht. Weil also die Bestimmung der Gröfse dieser hiernach zuletzt erhaltenen Elementartheile aufser dem Gebiete der Erfahrung liegt, so kann der Naturforscher nicht mit Gewifsheit weder die absolute noch die relative Gröfse derselben angeben. Indefs können sie nicht im strengsten Sinne unendlich klein genannt werden, und es sind aufserdem Gründe vorhanden, welche dafür entscheiden, die Elemente der verschiedenen Körper für ungleich grofs zu halten.

Die vielen Streitigkeiten über die Theilbarkeit der Materie entstanden aus falschen Begriffen. Man sagte: Materie

[1]) Phil. Trans. 1826. III. 511.

[2]) Poggendorff Ann. LXXXV. 556.

sey das Raum-Erfüllende. Indem aber eine ins Unendliche fortgesetzte Theilung des Raumes geometrisch demonstrirt werden kann, so fragte man, ob die den Raum erfüllenden Körper gleichfalls dieser unendlichen Theilbarkeit unterworfen wären, oder ob die kleinsten Theile nicht mehr getheilt werden könnten. Die unendliche Theilbarkeit des Raumes läfst sich aber auf folgende Weise leicht demon-
Fig. I.] striren. Wenn man eine Linie ca zieht, auf diese eine andere ba von beliebiger Länge rechtwinklich fället, und aus dem Puncte c eine unendliche Menge divergirender Linien zieht, welche sich in dem Raume ba ausbreiten, so mufs dieser hierdurch in eine unendliche Menge Theile getheilt werden, weil geometrische Linien keine Dicke haben. Wäre dann ba ein Körper, etwa ein Draht, so frägt sich, ob auch dieser hierdurch unendlich getheilt würde.

Genau genommen kommt die Sache auf einen Wortstreit hinaus [1]. Der unendlich kleine Raum, wie der unendlich kleine Körper ist kein Gegenstand unserer Kenntnifs, auch lassen sich die (absolut) unendlich kleinen Theilchen nicht zur Bildung eines mefsbaren Körpers vereinigen (summiren) und die Rede kann daher nur seyn, was die Erfahrung über die Gröfse, die Form, und die lezten Bestandtheile der Körper lehrt. Hier finden wir aber den allgemeinen Naturgesetzen gemäfs eine aufserordentliche Verschiedenheit hinsichtlich der Gröfse der Körper, ihrer Formen und der Kleinheit ihrer Theile, indem diese leztere überall weit über die Grenzen unserer Messungen hinausgeht. Ein Beispiel dieser Art liefert das Gold nach Reaumür's Versuchen und Berechnungen [2]. Eine Unze dieses Metalls nämlich liefert einen Würfel von 5,1964 Lin. Seite. Wird hiermit eine Silberstange belegt und zu feinstem Drahte ausgezogen, so erhält dieser eine Länge von nahe 60 geograph. Meilen. Nimmt man an, dieser sey geplättet und werde durch ein Mikroskop betrachtet, welches 1000 mal vergröfsert, so bietet jene Masse 38 Billionen sichtbare Puncte dar. Nach Parrot [3]) färbt ein Tropfen Indigo-Auflösung 500 Cub. Z. Wasser = A. Darinnen können 500000'000000 sichtbare Theile = B angenommen werden, und da die Masse des Wassers etwa 500000 mal = C gröfser

[1]) Biot Traité. I. 4.

[2]) Mém. de Paris. 1713. p. 199. Vergl. Halley in Phil. Trans. N. 194. XVI. 510.

[3]) Handbuch d. Phys. I. 17.

ist als die des Tropfens, so kann jeder Theil der Farbe nur $\frac{A}{BC}$ = ein fünfhundert Billionstel eines Zolles ausmachen. Um aber von der Zahlengröfse einer Billion eine deutlichere Vorstellung zu erhalten, darf man nur überlegen, dafs man 31675 Jahre alt werden müfste, wenn man an einer Secundenuhr nur eine Billion Secunden zählen wollte. Noch ungleich kleinere Theile, als in tropfbar-flüssigen, lassen sich in den verdunstenden riechbaren Stoffen, z. B. dem Moschus, nachweisen, wie schon Rob. Boyle [1]) gezeigt hat. Von der unglaublichen Feinheit mancher Körpertheilchen zeugen ferner die Spinnefäden, desgleichen künstlich verfertigte feine Gewebe, indem namentlich ein gewisser W. Neven in England solche verfertigte, wobei 256 Fäden auf die Länge eines engl. Zolles, also 65536 Maschen auf die Fläche desselben kamen.

Es ist also kein Körper bekannt, welcher nicht in kleinere Theile getheilt werden könnte, als deren Messung für uns noch möglich bleibt. Hiernach kann auch die Frage nicht beantwortet werden, ob die Elemente der Materie alle von gleicher oder von ungleicher Gröfse sind, vorausgesetzt, dafs die Vorstellung einer unendlichen Theilbarkeit der Materie in sich widersprechend, und man daher Atome anzunehmen gezwungen sey. Insofern aber die chemischen Aequivalente, die Molecülen, die Gewichttheilchen u. s. w. der Chemiker genau genommen nichts anders sind, als Theile, welche nicht weiter getheilt werden können, mithin Atome, diesen aber eine relative Gröfse beigelegt wird, so folgt hieraus, dafs die Elemente der verschiedenen Körper hiernach als ungleich grofs betrachtet werden. Eine interessante Bemerkung machte Döbereiner [2]), indem er fand, dafs Wasserstoffgas durch den feinen Rifs einer gesprungenen Campane drang, welcher sonst keine Gasart durchliefs, und dafs Luft aus einer feinen Spitze entwich, in welche Weingeist nicht eindrang, aus welcher Erfahrung man auf ungleiche Gröfse der Elemente zu schliefsen veranlafst wird. Mehrere Gelehrte haben aufserdem verschiedene Mittel versucht, die absolute Gröfse der Körperelemente zu er-

1) Exercit. de mira subt. effluv. in Opp. Genev. 1680. 4to. Eine Vergleichung menschlicher und der Naturproducte s. Lichtenberg verm. Schr. IV. 431.

2) Die neuesten und wichtigsten physikalisch-chemischen Entdeckungen. Jena 1823. 4. p. 15.

forschen, allein die Zukunft mufs erst entscheiden, ob die Voraussetzung der Chemiker von einer relativen Gröfse derselben gegründet ist, und eine Messung der absoluten Gröfse im Gebiete der Möglichkeit liegt.

§. 17.

Die in verschiedenem und selbst wechselndem Aggregatzustande vorhandenen Körper zeigen zugleich noch einige relative Eigenschaften. Dahin gehören vorzüglich Dichtigkeit, Porosität, Härte, Elasticität und Sprödigkeit.

Kein Körper ist absolut dicht, und wir können nicht wissen, ob gänzliche Entziehung aller Wärme diesen Zustand hervorbringen würde. Dieses, und dafs die Cohärenz der verschiedenen Stoffe ihrer Dichtigkeit nicht proportional ist, führt auf den Schlufs einer Aggregation in einzelnen Gruppen und daraus erwachsende Porosität. Nehmen wir die unwägbaren Potenzen auch unter die materiellen Substanzen auf, so sind alle Körper der Erfahrung nach porös. Als Beispiele dieser Eigenschaft dienen das Durchschimmern des Lichtes durch dünne Goldblättchen, die Wirkung des Magnets durch Glas und Holz, der Schwefelleberluft durch dicke Lagen Papier, Entweichen der Luft aus Eiern im Vacuo, der Quecksilberregen u. s. w. Die gleichmäfsigere Vertheilung der Atome bei Flüssigkeiten verursacht, dafs wir der geringeren Dichtigkeit ungeachtet keine Poren wahrnehmen [1]. Nach Newton [2] sind auch bei den dichtesten Körpern die Zwischenräume gröfser als die Masse.

Härte, und die ihr entgegengesetzte Weichheit sind relativ. Verschiedene Ursachen bringen einen Wechsel dieses Zustandes in den Körpern hervor, z. B. vermehrte Wärme bei Wachs, Pech, Harz u. a., Klopfen und Pressen bei Metallen u. s. w., vor allen Dingen veränderte Mischungsverhältnisse, z. B. beim Eisen, welches bei einem Zusatze von 0,02 bis 0,04 Kohlenstoff als Gufseisen, desgleichen durch Beimischung einer geringen Quantität Phosphor, Schwefel und eines der Erdmetalle sehr hart und spröde, durch 0,01 Kohlenstoff als Stahl hart und elastisch wird,

---

[1]) Musschenbroek Int. §. 91.

[2]) Opt. II. 3. 8. Experiments and Considerations about the Porosity of bodies. By Rob. Boyle. Lond. 1681. 8.

durch schnelles Abkühlen endlich an Härte und Elasticität zunimmt. Kupfer dagegen wird durch Verbindung mit dem spröden Zink weich (Messing), mit weichem Zinn dagegen hart und spröde (Spiegelmetall, Glockenspeise), durch schnelles Abkühlen spröde.

Mit gröfserer Härte ist meistens gröfsere Elasticität verbunden, weswegen mehrere Metalle durch Hämmern und mäfsig schnelles Abkühlen elastisch werden. Einen geringen Grad von Elasticität haben alle Körper, auch die tropfbar flüssigen, jedoch lassen sich diese lezteren nur wenig zusammendrücken. Nach Canton's gehaltreichen Versuchen werden durch eine Atmosphäre zusammengedrückt: Regenwasser um 46; Weingeist um 66; Olivenöl um 48; Seewasser um 40; Quecksilber um 3 Milliontheilchen ihres Volumens [1]). Spätere Versuche von Abich können ihrer Natur nach keine genügende Resultate geben [2]). Besser sind diejenigen, welche Perkins mit seinem Piezometer (einem hohlen, durch einen Stempel gesperrten stählernen Cylinder) anstellte, wonach das Wasser durch 100 Atmosphären um 0,01 seines Volumens comprimirt wird [3]), nach Roget's [4]) Berechnung aber nur um $\frac{1}{212,36}$. Nach Oersted's genauesten Versuchen [5]) wird das Wasser durch den Druck einer Atmosphäre um 0,0000045 seines Volumens zusammengedrückt, welches mit Canton's Angabe sehr genau übereinstimmt.

Beispiele grofser Elasticität weicher Körper geben das Federharz und die sogenannten spanischen Reiter, welche man aus frischem Brodte formen, und mit gröfster Gewalt auf die Erde werfen kann, ohne dafs sie zerbrechen. Grofse Elasticität zeigen die Glasfäden, welche so fein gesponnen werden, dafs sie sich zu Zeugen flechten lassen [6]) und die Glastrompeten mit sehr dünnem Boden; grofse Sprödigkeit dagegen die Bologneser Flaschen, welche durch ein hineingeworfenes scharfes Stückchen Feuerstein geritzt zer-

1) Phil. Trans. LIV. 261. Vergl. Th. Young's Lectures. I. 276.

2) Zimmermann über d. Elasticität des Wassers. Braunschw. 1790. 8. Vergl. Gang und Gröfse d. Weichheit d. Wassers, aus d. Versuchen d. H Zimmermann gefolgert von F. G. Busse. Leipz. 1806.

3) Phil. Trans. 1820. II. 324.

4) Ann. of Phil. 1821. Febr. p. 135.

5) Ann. of Phil. 1822. Sept. p. 236.

6) S. Deuchar in Ann. of Phil. 1822. Nov. p. 358.

springen [1]), die Glasthränen oder Glastropfen, deren Eigenschaft Homberg [2]) zuerst erklärte, u. s. w. Den eigentlichen Charakter der Elasticität zeigt eine elfenbeinerne Kugel durch die gröfsere oder kleinere eben gedrückte Fläche, wenn man sie mit gröfserer oder geringerer Heftigkeit auf eine mit Kienholzrufs geschwärzte Glas- Marmor- oder Achat-Platte wirft [3]). Wäre hierbei die Platte vollkommen hart, die Kugel vollkommen elastisch, so müfste sie eben so hoch zurückspringen, als sie herabfiel, und hiernach stets in Bewegung bleiben, den Widerstand der Luft als nicht vorhanden betrachtet. Den Grund der Elasticität sucht man in den anziehenden und abstofsenden Kräften, worauf die Cohäsion der Körper beruhet, oder in der ersteren allein, wenn man diese zur Erklärung der lezteren für genügend hält.

Die gasförmigen Körper und die Dämpfe zeigen eine eigenthümliche Art der Elasticität, welche man auch Expansion oder Expansibilität nennt. Sie besteht in dem Bestreben, sich in einen stets gröfseren Raum auszudehnen, wenn dieses nicht durch äufseren Druck gehindert wird. Man leitet diese Eigenschaft am einfachsten aus der Repulsivkraft der Wärme ab, um so mehr, als die Elasticität und Dichtigkeit der Dämpfe eine Function der Wärme ist [4]). Hiermit steht sehr im Einklange, dafs die gasförmigen Substanzen sich durch mechanische Gewalt mit Ausscheidung bedeutend vieler Wärme in einen kleineren Raum zusammendrücken lassen.

---

[1]) Balbus in Comm. soc. Bonon. I. 1. 328.

[2]) Mém. de l'Acad. X. 147.

[3]) S. Zanotti in Comm. soc. Bonon, IV. 219.

[4]) Vergl. Dämpfe im Abschnitt Wärme.

II. Von der Bewegung.

A) Statik und Mechanik fester Körper.

§. 18.

Jeder gegebene Körper ist an irgend einem Orte. Dieser an sich genommen ist der absolute, in Beziehung auf den Beobachter, oder auf andere Körper ist er der relative Ort.

Der absolute Ort eines Körpers kann blofs durch Abstraction erkannt werden, und ist ein in der Mechanik ganz unfruchtbarer Begriff.

§. 19.

Sofern der absolute Ort eines jeden Körpers unveränderlich ist, kann es in dieser Beziehung keine absolute Bewegung geben. Der Ort wird relativ, sobald er mit einem andern vertauscht wird, oder der Körper sich bewegt. Fassen wir diese Bewegung als etwas für sich Bestehendes auf, so ist sie absolut, erscheint sie uns aber in und mit Beziehung auf uns oder auf andere Körper, so ist sie relativ.

Bei jeder wissenschaftlichen Untersuchung, wenigstens in der Mechanik, wird das Verhältnifs der ruhenden und der bewegten Körper unter einander vorher genau bestimmt. Ist dieses nicht geschehen, wie bei minder streng wissenschaftlichen Bezeichnungen der Fall zu seyn pflegt, so werden leicht Mifsverständnisse erzeugt, und es ist oft schwer zu entscheiden, welcher von zwei Körpern der bewegte, und welcher der ruhende sey. Beispiele geben die scheinbare Bewegung der Sterne, der Hecken und Bäume beim Fahren, und das anscheinende Rückwärtsgehen eines nach anhaltender Bewegung stillstehenden Wagens. Am rathsamsten ist es daher, die Bewegung der ihren Ort verändernden Körper nie anders als relativ anzusehen.

§. 20.

Ruhe und Bewegung sind aufserdem in verschiedenem Wechsel einzeln bestehend oder gemeinschaftlich.

Beispiele giebt die Erfahrung in Menge; unter andern die relative Ruhe und Bewegung eines im Wagen oder Schiffe Fahrenden, der Menschen gegen die Erde u. s. w.

§. 21.

Bei der Bewegung kommt in Betrachtung

a) die Zeit ihrer Dauer,
b) der Raum, welchen der Körper durchläuft,
c) die bewegende Kraft,
d) die Richtung,
e) das Medium, worin der Körper bewegt wird.

Aus dem Verhältnisse der beiden ersten entspringt der Begriff der Geschwindigkeit im Allgemeinen, so wie der gleichförmigen und ungleichförmigen Bewegung insbesondere. Die beiden folgenden kommen bei der Bestimmung der Bahn zunächst in Betrachtung, das Medium wird aber vorläufig als ganz frei angenommen.

Der Begriff der Geschwindigkeit wird in der Erfahrung zu oft gegeben, als dafs er einer Erklärung bedürfte. Nennen wir sie C; den Raum S; die Zeit T, so ist $C = \frac{S}{T}$ die auf alle Fälle anwendbare Fundamentalgleichung.

Die einzige in der Natur gegebene gleichförmige Bewegung finden wir in der Axendrehung der Planeten, namentlich der Erde. Aus diesem Grunde ist die Bewegung der Gestirne das absolute Mafs der Zeit, indem man Uhren verfertigt, welche sich mit der Bewegung der Sterne gleichmäfsig bewegen; ihre Bewegung ist jedoch, streng genommen, keine gleichförmige.

Es giebt zwar für die Zeit sowohl, als auch für den Raum absolute Mafse, nicht aber für die Geschwindigkeit, und Biot [1]) sagt daher mit Recht, man könne von keiner Bewegung eigentlich behaupten, sie sey geschwind oder

---

[1]) Traité. III. 148.

langsam. Von der Geschwindigkeit einer Schnecke bis zu der einer Geschützkugel, und von dieser bis zur Bewegung des Lichtes sind ungeheure Stufen, und ob es nicht in ähnlichen Verhältnissen noch gröſsere Geschwindigkeiten giebt, darüber ist nicht mit Gewiſsheit zu entscheiden.

Der ungleichförmigen Bewegungen giebt es demnach eine zahllose Menge. Sie sind entweder beschleunigt oder vermindert, beides gleichmäſsig oder ungleichmäſsig. Ein Beispiel der beiden ersten giebt das Pendel, als Beispiel der beiden lezteren könnte eine Windmühle dienen.

Folgende in Par. Fuſs auf eine Secunde ausgedrückte Geschwindigkeiten geben eine interessante Uebersicht [1]:

der Flüsse	3	F.
des Amazonenflusses	7,3	—
des Wassers im Bagnithale	32,0	—
des mäſsigen Windes	10,0	—
eines Sturmes	50,0	—
eines mit der Hand geworfenen Steines	60,0	—
einer Büchsenkugel	1500,0	—
einer 24pfündigen Kanonenkugel . . .	2300,0	—
eines Punctes der Erde im Aequator	1431,5	—
der Erde in ihrer Bahn	94825,0	—
einer Schnecke	0,005	—
eines Falken	71,3	—
eines Adlers, 15 Meilen in einer Stunde	95,2	—
einer Brieftaube (50 Meil. in 2,25 Stunde?)	141,0	—
eines Barutschpferdes	12.0	—
eines Rennthiers im Schlitten	25,0	—
eines Windhundes	78,0	—
eines Rennpferdes	48,3	—
des berühmten Rennpferdes Eclipse, welches 19 F. im Sprunge überspannte und 2000 Lstl. kostete	78,0	—
des Schnellläufers Farguharson auf kurze Strecken	20,1	—
Kamtſchadalische Hunde, 270 engl. Meilen in 23 Stunden	8,0	—

§. 22.

In Hinsicht auf die bewegende Kraft muſs wohl berücksichtigt werden, daſs in der Materie selbst, als

[1]) Meistens aus Scholz Anfangsgründe d. Physik. Wien 1827. p. 20.

solcher, kein Grund der Bewegung enthalten ist. Hieraus folgt unmittelbar, dafs die zu bewegende Materie eine Reaction ausüben müsse, welche eine Function ihrer Masse und der zu ertheilenden Geschwindigkeit ist, und welche man auch Trägheit oder Kraft der Trägheit nennt; imgleichen dafs ein bewegter Körper gegen ruhende einen, den genannten Potenzen gleichfalls proportionalen Effect ausübt, welchen man richtig mit quantitas motus oder Moment der Bewegung bezeichnet.

Wenn gleich ein einmal bewegter Körper sich zu bewegen fortfährt, und auch andere Körper in Bewegung setzt, so liegt doch der Grund der Bewegung nicht in der Materie. Fafst man diese Wahrheit scharf auf, so wird der bekannte Satz der Trägheit: jeder Körper beharret, ohne hinzugekommene abändernde Ursache, ewig im Zustande der Ruhe oder der Bewegung, nicht weiter schwierig seyn. Wird ferner nicht übersehen, dafs Bewegung und Ruhe nur relativ sind, so fallen die vielen falschen Vorstellungen von der Trägheit noch leichter weg [1]).

Beispiele der Reaction und Trägheit geben das Schwungrad, das plötzliche Anhalten oder Bewegen eines Wagens, die Scheibe und die sie durchbohrende Kugel [2]), das Schmieden auf der Brust, Zerschlagen schwerer Steine in der Hand, Herabfallen eines am Faden an einer Waage hängenden Gewichtes, Hinauftreiben der Axt auf den Stiel. Jessops Methode, Steine zu sprengen [3]). Eine Bombe im Wasser zerspringend, erzeugt eine starke Erschütterung, ein Schiefsgewehr zerspringt leicht, wenn sich Luft zwischen Ladung und Pfropfen befindet, weil die Explosion

---

1) S. Franklin on the vis inertiae of matter. Lond. 1779. 4. Euler mém. de l'acad. de Prusse. 1759. p. 428. Gordon phys. exper. el. I. 42. Kästner höhere Mechanik. p. 22. Bucquoy Erläut. zu Schuberts Astron. p. 43. Carnot Grundsätze d. Mechanik. Leipz. 1805. p. 77. u. a. m.

2) S. Camus in Mém. de l'Acad. 1732. p. 147.

3) Aus Nicholson's Journ. in Bibl. Brit. XXVIII. 280. Gilb. Ann. XXII. 113. XXIII. 249. u. a. a. O. Vergl. Végobre in Bibl. Brit. XLII. 381. Peluger in Bibl. univ. XXX. 231. Ueber d. Erklärung s. §. 26.

des Schiefspulvers eher gegen die Wände des Laufes, als gegen den Pfropfen wirkt u. dgl. m.

Newton's[1]) bekannter Satz, dafs Wirkung und Gegenwirkung einander gleich sind (actio aequalis reactioni), wird leicht anschaulich, wenn man sich vorstellt, dafs die Wirkung nur erfordert wird, um die Gegenwirkung zu überwinden; z.B. wenn das Gewicht eines Pfundes überwunden werden soll, wozu nicht mehr als die Kraft von einem Pfunde verwandt werden kann. Diejenigen, welche Einwendungen dagegen machten, z.B. Hamberger[2]), fafsten die Sache nicht in dieser Einfachheit auf[3]). Man kann an sich selbst leicht wahrnehmen, dafs der Mensch durch Uebung eine Fertigkeit erlangt, die Wirkung der erwarteten Gegenwirkung anzupassen, z. B. wenn jemand ein Gefäfs mit Quecksilber aufhebt, ohne dessen grofses Gewicht zu kennen, oder wenn man im Dunkeln eine Treppe hinaufsteigt, und noch einen Tritt vermuthet u. s. w.

Die Kräfte heifsen lebendige, wenn sie eine Bewegung hervorbringen, todte dagegen, wenn sie hieran durch einen für sie unüberwindlichen Widerstand gehindert werden; z. B. wenn ein gegebenes Gewicht die Waagschale wirklich in Bewegung setzt, oder wenn es blofs gegen seine Unterlage drückt. Die in der Mechanik am häufigsten vorkommenden Kräfte sind 1) die Muskelkraft der Menschen und Thiere; 2) die Schwere, z.B. bei Uhrgewichten; 3) Druck oder Stofs, z. B. des Wassers, der Luft u. s w.; 4) Elasticität, z B. der Federn, Dämpfe u. s. w.

Man unterscheidet in der Mechanik das statische Moment der Kraft oder das Product einer bewegenden Masse in die Entfernung vom Umdrehungspuncte; das mechanische Moment, oder das Product der bewegenden Masse in ihre Geschwindigkeit; das Trägheitsmoment endlich, das Product der bewegten Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit. Das statische Moment kommt in Betrachtung bei der Construction des Hebels, das mechanische bei der durch einen stofsenden Körper in dem gestofsenen erzeugten Geschwindigkeit, bei der zu bestimmenden Kraftäufserung eines Pferdes aus der bewegten Last und der Geschwindigkeit der Bewegung u.s.w.; das Trägheitsmoment bei der Construction

1) Phil. Nat. Princ. math. T. I. p. 15. ed. Tessanek. Vergl. Mac-Laurin. Phil. Newton. p. 149.

2) Elementa phys. math. Jena 1711. 8. §. 36.

3) Vergl. Young Lect. I. 55. Fries Lehrb. d. Naturl. Jena 1826. p. 82.

der Schwungkraft, bei der Bestimmung der Kraft, welche ein mit beschleunigter Geschwindigkeit fallender oder mit einer gegebenen Geschwindigkeit bewegter Körper gegen einen ruhenden ausübt u. a. m. Indem aber hiernach das Trägheitsmoment dem Producte aus der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist, so erklärt sich hieraus leicht die grofse Gewalt, welche ein verhältnifsmäfsig leichter Hammer, die Geschützkugeln, die Rammklötze, die Wellen des Wassers und die Orkane ausüben. Es läfst sich auf diesen Grund eine genaue Bestimmung, namentlich der Geschützkugeln und der Rammklötze, bauen, wenn man dabei die hierfür bestimmt entscheidenden, und, so viel mir bekannt, allein genügenden Versuche von Beaufoy [1]) benutzt. Dieser scharfsinnige Naturforscher liefs Bleikugeln von gegebenem Gewichte aus genau gemessenen Höhen herabfallen, und bestimmte den Effect durch die Tiefe, bis zu welcher eine Spiralfeder hierdurch und durch aufgelegte Gewichte herabgedrückt wurde. Indem dann die Geschwindigkeit der Bewegung vermittelst der Formel $C = 2\sqrt{gs}$ (deren Erklärung in §. 24 enthalten ist) gefunden wird, und wenn man ferner C und c, die den verschiedenen Fallhöhen zugehörigen Geschwindigkeiten, Q und q, die Momente der Kraft, m aber den Exponenten der Geschwindigkeiten nennt, so ist $Q : q = C^m : c^m$, also $m = \frac{\log. Q - \log. q}{\log. C - \log. c}$. Die Versuche gaben $m = 1{,}9343$; 2,0626; 1,9817; im Mittel 1,9929, welches von 2 so wenig abweicht, dafs man unbedenklich das Trägheitsmoment dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional setzen kann. Die Versuche gaben ferner im Mittel für 1 ℔ Kraft mit 5,6736 F. Geschwindigkeit in einer Secunde 15,145 ℔. Hiernach hätte also eine 18pfünd. Kanonenkugel bei 1000 F. Geschwindigkeit eine Kraft $Q = \frac{15{,}145 \times 1000^2}{5{,}6736^2} = 8'467902$ ℔. Das Gewicht des gröfsten Mauerbrechers der Römer setzt Beaufoy = 41112 ℔, mit Einschlufs der Ketten u. s. w., die Geschwindigkeit aber höchstens zu 12 F. in einer Secunde, wonach $Q' = 555860$ seyn würde, welches einer 18pfünd. Kanonenkugel mit 271,15 F. Geschwindigkeit zugehört.

---

1) Ann. of Phil. 1822. Sept. p. 165.

Wenn man zur Berechnung des Effectes der Rammklötze die angegebenen Pfunde engl. Troy-Gewichts als gewöhnliche Pfunde beibehält, die Fuſse aber in alt-Pariser verwandelt, wonach sie nahe 5,33 betragen, und der Sicherheit wegen statt dessen 5,5 setzt, so ist der Effect der Rammklötze $Q = 15{,}145 \frac{MC^2}{5{,}5^2}$. Substituirt man hierin $C^2 = 4gs$, setzt $g = 15$ Par. F. und s die Fallhöhe, so erhält man sehr nahe $Q = 30\,ms$, d. h. man multiplicirt das Gewicht des Rammklotzes, in Pfunden ausgedrückt, mit der Fallhöhe in Par. F., und nimmt dieses Product 30mal, so erhält man die Kraft, womit derselbe auf den Pfahl aufschlägt, in Pfunden; und steht der Pfahl bei wiederholten Schlägen still, so vermag er die auf diese Weise gefundene Last zu tragen. Wäre also ein Pfahl mit einem 500 ℔ schweren und 12 F. herabfallenden Rammklotze auf solche Weise eingetrieben, so würde er $500 \times 12 \times 30 = 180000$ ℔ zu tragen vermögen.

§. 23.

Die bewegende Kraft ist entweder einfach oder zusammengesetzt. Ist sie einfach, so ist durch sie zugleich und allein die Richtung der Bewegung, oder die Bahn des Körpers gegeben. Ist sie zusammengesetzt, so heben sich entgegengesetzte Kräfte um gleiche Gröſsen auf; bei zusammenwirkenden aber läſst sich aus je zweien die mittlere oder Diagonalkraft construiren, und so lassen sie sich insgesammt in eine vereinigen. Werden die Kräfte im Augenblicke ihrer Wirkung erschöpft, oder müssen wir es uns so vorstellen, so kann die Bewegung nur geradlinig seyn. Eine krummlinige Bewegung erfordert wenigstens eine der Kräfte in ihrer Wirksamkeit stetig beharrend.

Als einfache, im Momente der Wirksamkeit erschöpfte, bewegende Kraft erscheint in der Natur der senkrechte, centrale Stoſs eines Körpers. Die meisten bewegenden Kräfte sind von dauernder oder in verschiedenen Zeitintervallen erneuerter und durch Hindernisse bedingter Wirksamkeit. Selten ist daher die Richtung der bewegten Masse im strengsten Sinne geradlinig.

Zur bequemeren Construction nimmt man die ganze Masse des bewegten Körpers in seinem Schwerpuncte (§. 32) vereinigt an, und nennt seine Bahn die Linie, welche dieser bei seiner Bewegung durchläuft.

Wie man zwei Kräfte durch das sogenannte Parallelogram der Kräfte als eine Diagonalkraft construiren könne, indem man annimmt, daſs in kleinen wechselnden Zeittheilchen der Körper kleine, den Kräften proportionale Räume zu durchlaufen sollicitirt werde, läſst sich leicht durch Construction anschaulich machen. Es seyen zu die-
Fig 2.] sem Zwecke A B, A C die bewegenden Kräfte, A c die Diagonale. Nennen wir diese beiden Linien a und b, den eingeschlossenen Winkel α, so ist die Diagonale $d = \sqrt{(a^2 + b^2 + 2ab \cos \alpha)}$, aus welcher Formel der Einfluſs des Neigungswinkels und selbst der Erfolg entgegenwirkender Kräfte hergeleitet werden kann.

Lassen sich zwei Kräfte zu einer einzigen Diagonalkraft vereinigen, so kann man auch jede beliebige Menge derselben zulezt in eine einzige verwandeln, indem man bei jeder Operation $\frac{n}{2}$ oder $\frac{n-1}{2} + 1$ neue Kräfte erhält, bis $n = 2$ wird [1]).

Man hat mehrere Maschinen, um diese Sätze anschaulich zu machen, welche aber hinsichtlich der Genauigkeit hinter der Construction zurückbleiben, und wegen der Leichtigkeit der Sache fast überflüssig sind, z. B. für zwei Kräfte von Nollet [2]), bestehend aus zwei Hämmerchen, welche gleichzeitig eine Kugel treffen, und Eberhard [3]); für beliebig viele Kräfte von s' Gravesande [4]), ein Rahmen, innerhalb dessen ein Punct durch beliebig viele, über Rollen gehende und mit Gewichten beschwerte Fäden gezogen wird

[1]) S. Dan. Bernoulli com. pet. I. d'Alembert op. I. Tralles in Schriften d. Berlin. Soc. d. Wiss. 1804 — 1811. p. 161. Am schönsten ist die Darstellung des Parallelogrammes der Kräfte in Poisson Traité de mécanique analytique. Par. 1811. II vol. 8. 1. p. 12. Die Geschichte der vielen Beweise für diesen Hauptgrundsatz der ganzen Statik und Mechanik fester Körper s. Praecipuorum inde a Newtono conatuum compositionem virium demonstrandi recensio. Auct. C. Jacobi. Gott. 1817. 4. Demonstrationum compositionis virium expositio de iisque iudicium. Auct. Westphal. Gott. 1817. 4.

[2]) Leçons de phys. exper: A Par. 1743. II. 24.

[3]) Erste Gründe d. Naturlehre. Halle 1767. §. 64.

[4]) Phys. élém. math. I. 64.

Beispiele von zwei und mehreren zusammenwirkenden Kräften kommen unzählige vor, z B. beim Ziehen eines Schiffes, der Rammklötze u. s. w. Oft wirken zwei und mehrere Kräfte, wo wir die Bewegung nur von einer Kraft ableiten, z B. bei einem Steine, welcher vom Maste eines segelnden Schiffes herabfällt; beim Fangen eines oder mehrerer Bälle im Fahren, Reiten oder Laufen. In allen diesen Fällen ist es nicht die Schwere allein, welche die Bahn des bewegten Körpers bedingt, weil er sonst lothrecht herabfallen müfste, sondern er bewegt sich vermöge der Trägheit beharrend in einer gegebenen Richtung mit der ihm ertheilten Geschwindigkeit, und hierzu kommt dann noch eine neue bewegende Kraft. Der Stein im Mastkorbe z. B. nimmt die Geschwindigkeit des Schiffes an, beharret in dieser Bewegung, auch wenn er frei herabfällt, und, entfernt sich daher auch beim Fortgehen des Schiffes nicht vom Mastbaume. Zur Versinnlichung dieser Bewegungen bedient man sich einer interessanten kleinen Maschine. Ein kleiner Wagen mit einer vertical stehenden kleinen Kanone rollt auf einer so geneigten Ebene herab, dafs er die anfangs erhaltene gröfsere Geschwindigkeit später unverändert beibehält, indem die Beschleunigung seiner, durch den Fall (§. 28) erzeugten, Bewegung durch die Reibung wieder aufgehoben wird Ist diese, wo möglich gleichmäfsige, Bewegung eingetreten, so schnellt eine sich lösende gespannte Feder eine Kugel aus der Kanone lothrecht in die Höhe, welche dann vermöge der zusammengesetzten Bewegung in die, während des Bogenwurfes der Kugel fortgerückte, Kanone zurückfällt. Da es schwierig ist, die geneigte Ebene für diese Bedingungen genau zu construiren, so wird der Wagen sicherer durch ein Uhrwerk auf der horizontalen Ebene mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt. Man hat ehemals diese Versuche in Bologna mit gröfseren, durch Schiefspulver aus kleinen Kanonen geschossenen, Kugeln angestellt, und die Wagen, worauf der Apparat stand, durch Pferde mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen lassen. Dahin gehört ferner die Axendrehung laufender Billardkugeln, der Geschützkugeln u. s. w., desgleichen eine Menge Erscheinungen, welche aus der nicht allezeit berücksichtigten Axendrehung der Erde folgen [1]).

[1]) S. Benzenberg Versuche über die Umdrehung der Erde. Dortmund 1804.

So wie man jede zwei Kräfte in eine Diagonalkraft vereinigen kann, muſs man auch jede Bahn eines Körpers als die durch zwei conspirirende Kräfte gegebene Diagonale ansehen können, welches in der Mechanik von gröſster Wichtigkeit ist.

Wenn die Richtung eines bewegten und in dieser (gleichförmigen oder ungleichförmigen) Bewegung beharrenden Körpers gegeben ist, und derselbe wird durch eine andere, stetig wirkende, in einem beliebigen Winkel auf seine Bahn gerichtete Kraft sollicitirt, so beschreibt er eine krumme Linie. Dieses kommt vorzüglich bei der Central- und Wurf-Bewegung in Anwendung.

§. 24.

Bildet die Richtung der einen von zwei Kräften, wodurch ein Körper in einer Curve bewegt wird, mit seiner Bahn eine Tangente, so heiſst sie Tangentialkraft. Weil hierbei die eine Kraft den Körper einem Centro zu nähern strebt, die andere die wirkliche Näherung hindert, so nennt man sie Centripetal- und Centrifugal-Kraft, beide Centralkräfte.

Am anschaulichsten werden die einfachsten Centralbewegungen dargestellt vermittelst eines an einem Faden im Kreise geschwungenen Körpers. Der Faden stellt die Centripetalkraft vor. Reiſst derselbe, so wird diese = o und der Körper wird in der Richtung der Tangente der beschriebenen Curve weiter fliegen. Ist die Centripetalkraft dem Quadrate der Entfernung vom Mittelpuncte umgekehrt proportional, so wird die beschriebene Linie ein nach dem verschiedenen Verhältnisse beider Kräfte zu bestimmender Kegelschnitt seyn. Nach diesem Satze läſst sich rücksichtlich der Schwere, welche beim Laufe der Planeten um die Sonne die stetig wirkende Centripetalkraft ist, sofern sie wie die Quadrate der Entfernungen abnimmt, leicht zeigen, daſs die Planeten Ellipsen beschreiben müssen, bei denen auch die beiden übrigen Gesetze Keplers nothwendig sind. Diejenige Linie, welche wir aus dem Centro nach dem bewegten Körper gezogen uns vorstellen können, oder die Richtung der Centripetalkraft für jedes Zeitmoment der Bewegung, nennen wir radius vector.

Eine allgemeine Untersuchung über die Centralkräfte und die durch sie erzeugte Centralbewegung in beliebigen

Curven gehört in die höhere Mechanik, die angewandte Mechanik beschränkt sich meistens nur auf die Kreisbewegung. Die Bewegungen der Himmelskörper, namentlich der Planeten und ihrer Trabanten in Ellipsen untersucht die Astronomie [1]).

§. 25.

Wenn ein Körper um ein Centrum bewegt wird, so äufsert er zugleich nach dem Gesetze der Trägheit das Bestreben, in seiner Bewegung zu beharren. Die Richtung, in welcher dieses geschehen müfste, wird durch eine Tangente der Curve bezeichnet, worin er sich bewegt, und es mufs hieraus eine Kraft entstehen, nach welcher er sich vom Centro zu entfernen sucht, welche Schwungkraft heifst, und dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist.

Die Schwungkraft, welche auch als die Diagonale zweier conspirirender Kräfte construirt werden kann, mufs dem Gesetze der Trägheit gemäfs bei jeder Centralbewegung entstehen, weil der Körper vermöge der Trägheit in seiner Richtung zu beharren strebt, und folglich in jedem kleinsten Zeittheilchen durch irgend eine, dem Trägheitsmomente proportionale Kraft von dieser Richtung abgelenkt werden mufs. Wird ein Körper an einem Faden umgeschwungen, so giebt die Stärke der Anspannung dieses Fadens das Mafs der Schwungkraft an, welche man dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional findet. Heifst also die Geschwindigkeit $= v$, die Schwungkraft $= k$, so ist in Rücksicht auf das zu überwindende Trägheitsmoment $k = v^2$.

Wird ein Körper im Kreise geschwungen, so läfst sich Fig. 3.] die Schwungkraft auf folgende Weise finden. Ist ABD der um das Centrum C gezogene Kreis, in welchem sich der Körper bewegt, AF die Tangente, in welcher er sich ohne eine ihn nach dem Centrum C ziehenden Kraft bewegen würde, und Am ein verschwindend kleiner Bogen,

---

[1]) Newton Princ. I. Prop. XI. probl. VI. Bohnenberger Astronomie. p. 457 ff. Littrow theoretische und praktische Astronomie. Wien 1821. II vol. 8. II. p. 48 ff. u. a. m.

welchen er in einem gegebenen Zeitelemente durchläuft, so läſst sich annehmen, daſs er zugleich um die Gröſse A n von derjenigen Richtung abgezogen wird, in welcher er vermöge der Trägheit sich zu bewegen strebt. Das Verhältniſs A n zu A m giebt also seine Schwungkraft an. Es ist aber A n der sin. vers. des Bogens A m, und für verschwindend kleine Bögen, welche wir hier deswegen annehmen müssen, weil der Körper in jedem verschwindenden Zeitelemente von der Richtung seiner Tangente abgezogen wird, ist der sin. vers. gleich dem Quadrate des Bogens, dividirt durch den Durchmesser, oder sin. vers. $x = \frac{x^2}{2r}$. (Geometrisch läſst sich dieses zeigen, wenn man den verschwindend kleinen Bogen A m der Chorde gleich setzt, wonach dann F A a; A m a und A m F ähnliche rechtwinkliche Dreiecke sind. Es ist dann $An : Am = Am : Aa$, also $An = \frac{Am^2}{Aa}$.) Weil aber die auf einem durchlaufenen Raume erlangte Geschwindigkeit dem doppelten Raume gleich, die Kraft aber der Geschwindigkeit proportional ist, so ist also die Schwungkraft dem doppelten sin. vers. des durchlaufenen Bogens proportional, oder die Schwungkraft $k = 2$ sin. vers. x. Wird hierin für sin. vers. x der angegebene Werth substituirt, so ist $k = \frac{2x^2}{d}$, wenn d den Durchmesser des Kreises bezeichnet, oder $k = \frac{2x^2}{2r} = \frac{x^2}{r}$, also die Schwungkraft ist dem Quadrate des durchlaufenen Bogens directe und dem Halbmesser des Kreises umgekehrt proportional. Setzt man endlich den durchlaufenen Raum der Geschwindigkeit gleich, also statt x die Geschwindigkeit v, so ist $k = \frac{v^2}{r}$. Nimmt man als Zeiteinheit eine Sexagesimalsecunde mittlerer Sonnenzeit, und vergleicht die Schwungkraft mit der Schwere, so ist das Maſs der lezteren gleichfalls der doppelte Raum, welchen ein freifallender Körper in der nämlichen Zeit durchläuft, also den einfachen $= g$ genannt, so ist die Schwere $= 2g$. Wird leztere zur Vergleichung als Einheit angenommen, so erhält man $k : 1 = \frac{v^2}{r} : 2g$ also allgemein $k = \frac{v^2}{r\,2g}$, eine für alle Theile der Mechanik

sehr fruchtbare Bestimmung [1]). Zur Erläuterung dieser hier aufgestellten Gesetze dient die Schwungmaschine.

§. 26.

Wenn zwei Körper, von denen wenigstens einer bewegt seyn mufs, in ihrer Bahn zusammentreffen, so erfolgt ein Stofs. Dieser ist entweder gerade, wenn die Richtung der Bewegung auf die Berührungsfläche beim Stofse senkrecht ist, oder schief; central, wenn die Richtung des Stofses durch den Mittelpunct oder den Schwerpunct der Massen geht, oder excentrisch. Berücksichtigt man blofs den centralen, so ist, wenn M und m die Massen, C und c die Geschwindigkeiten beider Körper vor dem Stofse, c′ die Geschwindigkeit nach dem Stofse bezeichnet, die allgemeine Gleichung $c' = \frac{MC + mc}{M + m}$. Die Erscheinungen werden sehr durch die Beschaffenheit der Körper abgeändert, je nachdem sie hart oder elastisch sind. Weiche Körper kommen den harten gleich, mit der Einschränkung, dafs sie die Form ändern.

Die Gesetze des Stofses, welche sich mit der Nolletschen Percussionsmaschine leicht versinnlichen lassen, können einfach aus dem mechanischen Momente der Bewegung (§. 22.) abgeleitet werden. Dabei kommt es auf die Richtung der Bewegungen an, wovon die eine negativ genommen werden mufs, wenn sie der andern entgegengesetzt ist. Hiernach können bei harten Körpern folgende Fälle unterschieden werden:

1) wenn beide Körper nach einer Richtung bewegt sind, oder c positiv, so ist $c' = \frac{MC + mc}{M + m}$.

---

[1]) Vergl. Poisson Traité de Mec. II. 386. Andere Physiker schliefsen den Bogen zwischen die Grenzen der Parallelen AF und nm ein, deren Unterschied mit der Verminderung des Bogens stets mehr verschwindet, und gelangen auf diese Weise zu dem nämlichen Resultate. Die von mir gewählte Darstellung ist etwas kürzer, und scheint mir nicht schwierig. Vergl. Bohnenberger Astron. p. 461 ff. G. G. Schmidt Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. p. 57. ff.

2) Ist in diesem Falle $M = m$, so ist $c' = \frac{C + c}{2}$.

3) Wenn beide Körper nach entgegengesetzter Richtung bewegt sind, oder c negativ, so ist $c' = \frac{MC - mc}{M + m}$,

4) und bei gleichen Massen $c' = \frac{C - c}{2}$.

5) Ist der eine Körper ruhend, oder $c = o$, so ist $c = \frac{MC}{M + m}$.

6) und bei gleichen Massen $= \frac{C}{2}$.

7) Ist M unendlich groſs, daher $m = o$, so wird $c' = C$.

8) und wenn die unendliche Masse ruhet, oder $C = o$, so ist $c' = o$.

Sind die Körper vollkommen elastisch, so werden sie beim Stoſse mit einer Kraft zusammengedrückt, welche der Stärke des Stoſses proportional ist, und mit einer gleichen Kraft müssen sie nach dem Gesetze der vollkommenen Elasticität aus einander getrieben werden. Man kann daher nur die verschiedene Geschwindigkeit eines jeden einzelnen berechnen. Nach den Gesetzen des Stoſses harter Körper wird der eine das Product seiner Masse in die Geschwindigkeit unter beide Massen vertheilen, oder $c' = \frac{MC}{M + m}$ werden, und indem dadurch der gestoſsene eine seiner Masse und der Geschwindigkeit des stoſsenden proportionale Geschwindigkeit bekommt, diese $= c'' = \frac{mC}{M + m}$ werden, welche von der des stoſsenden abgezogen, die Geschwindigkeit des stoſsenden $c' = \frac{(M - m) C}{M + m}$ läſst. Es wird aber m mit einer seiner Masse und Geschwindigkeit proportionalen Kraft zurückwirken, und indem beide stoſsende Körper eine dieser Gröſse proportionale Reaction ausüben, welche unter beide Massen vertheilt werden muſs, so ist dieselbe $= \frac{2\,mc}{M + m}$; mithin bleibt mit Rücksicht auf die Richtung von c für M; $c' = \frac{(M + m)\, C \pm 2\, mc}{M + m}$

m; $c'' = \frac{(m - M)\, c \pm 2\, MC}{m + M}$.

welches die Hauptgleichungen für den Stofs elastischer Körper sind.

Hiernach lassen sich folgende vozügliche Fälle unterscheiden:

1) Ist $M = m$ und c positiv, so ist $c' = c$ und $c'' = C$, oder die Körper bewegen sich mit verwechselten Geschwindigkeiten.

2) Ist $M = m$ und c negativ, so wird $c' = - c$ und $c'' = - C$, oder die Körper bewegen sich mit verwechselten Geschwindigkeiten rückwärts.

3) Ist $M = m$ und $c = - C$, so ist $c' = - C$ und $c'' = C$, d. h. beide bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit mit verwechselter Richtung.

4) Ist $c = o$, so wird $c' = C \frac{M - m}{M + m}$, oder die Geschwindigkeit des Stofsenden wird so viel gröfser seyn, je gröfser der Ueberschufs seiner Masse über die des Gestofsenen ist; und $c'' = \frac{2 MC}{m + M}$, d. h. seine Geschwindigkeit ist im umgekehrten Verhältnisse seiner Masse.

5) Ist hierbei $M = m$, so ist $c' = o$ und $c'' = - C$, oder der Stofsende wird ruhen und der Gestofsene mit ganzer Geschwindigkeit sich bewegen.

6) Obwohl das positive und negative Zeichen der Bewegung willkührlich ist, und überhaupt die Bewegung relativ, so läfst sich doch uneigentlich der Fall betrachten, wonach M, die Masse des Stofsenden $< m$ ist. Dann wäre, wenn $c = o$ ist, $c' = - \frac{(m - M)}{m + M} C$, d. h. M wird mit gröfserer Geschwindigkeit rückwärts bewegt werden, als m vorwärts, da $c'' = \frac{2 MC}{m + M}$.

7) Wenn mehrere gleiche Kugeln einander berühren, so wird jede folgende zugleich eine gestofsene und eine stofsende seyn, mithin wird die ganze Reihe nach dem Stofse ruhen, und blofs die lezte abfliegen. Sind die stofsenden Körper $= M$; m; μ, so wird die Geschwindigkeit der lezteren seyn $= \frac{4 MmC}{(M + m)(m + \mu)} = \frac{4 MC}{M + m + \frac{M\mu}{m} + \mu}$,

welcher Bruch am gröfsten ist, wenn der Nenner am kleinsten ist, und dieses findet statt, wenn m die mittlere Proportionale zwischen M und μ ist. Hieraus erklärt Prechtl[1]) die Wirkung der § 22 erwähnten, durch Jessop erfundenen Methode, Steine zu sprengen. Gewöhnlich wird nämlich in das Bohrloch des Felsens die Patrone mit Pulver gebracht, in diese ein Stab gesenkt, dessen Mark durch einen Draht ausgestofsen ist, welchen lezteren man darin stecken läfst, um das Zusammendrücken des Rohres zu hindern. Dann wird der übrige Raum des Loches über der Patrone mit Steinen vollgestampft. Sind diese kieselhaltig, wie meistens der Fall ist, so geben sie, mit Stahl gestofsen, leicht einen Funken, welcher das Pulver entzündet und die Arbeiter tödtlich verletzt, ehe sie nach herausgezogenem Drahte das Rohr mit Pulver füllen, ein Stück brennenden Schwamm aufstecken und sich davon entfernen können. Jessop rieth daher, das Loch mit losem Sande zu füllen, und die Erfahrung hat ergeben, dafs das Sprengen eben so stark und sicher erfolgt, als bei der besten Verkeilung. Lockere Erde, Sägemehl, Asche u. dgl. sind unbrauchbar. Hiernach folgt, dafs der Sand vermöge seiner Elasticität wirkt. Wären dessen Kügelchen vollkommen elastisch, und in lauter Reihen mit der Axe des Bohrloches parallel aufgeschichtet, so würden blofs die obersten mit der ganzen Kraft, welche das Pulver ausübt, fortgestofsen werden, die übrigen aber mit unüberwindlichem Widerstande ruhend bleiben. Sind gleich diese Bedingungen nicht vollständig vorhanden, so reichen sie doch hin, das Phänomen zu erklären.

8) Ist $c = o$ und m unendlich grofs, wie bei grofsen, ruhenden und unbeweglichen Massen angenommen werden kann, so ist $c' = - C$, d.h. der stofsende Körper wird mit seiner ganzen Geschwindigkeit rückwärts bewegt werden. Dafs $c'' = o$ ist, versteht sich von selbst. Entsteht die Bewegung von M durch den lothrechten Fall, so gäbe dieses bei vollkommen elastischen Körpern ein perpetuum mobile physicum. Wenn man beim Stofse zweier Kugeln von ungleicher Masse, die mindestens um die Hälfte kleinere mit der Hand festhält, so wird die gröfsere stofsende nicht von ihr zurückspringen, sondern ruhend bleiben. Ist aber die gestofsene gleich grofs oder gröfser, so läfst sie sich mit der Hand so fest halten, dafs die gestofsene zurückspringt.

[1]) Gilb. Ann. XXIII. p.249 ff.

9) Stofsen zwei oder mehrere sich berührende Kugeln zugleich, so werden von den gestofsenen eine gleiche Anzahl bewegt werden. Die Ursache scheint darin zu liegen, dafs das Anstofsen nicht absolut gleichzeitig, sondern in unmefsbar kleinen Zeitintervallen geschieht.

10) Ist $m = \frac{1}{2} M$ und $c = 0$, so ist, $M = 1$ gesetzt, $c' = \frac{1}{3} C$ und $c'' = \frac{4}{3} C$, beide Bewegungen positiv. Wenn eine lange Reihe in dem genannten Verhältnisse abnehmender Kugeln einander berühren, und die gröfste stöfst gegen die folgende, so wird ohne Rücksicht auf das Moment der Bewegung, welches dadurch entsteht, dafs M sich mit $\frac{1}{3}$ C weiter zu bewegen gehindert ist, die n te Kugel mit einer Geschwindigkeit von $(\frac{4}{3})^n$ C sich bewegen, wodurch eine ganz ungeheure Geschwindigkeit entsteht, wenn n eine beträchtliche Gröfse hat [1]).

§. 27.

Wenn zwei harte Körper, wovon wenigstens einer elastisch seyn mufs, in schiefer Richtung gegen einander stofsen, so werden sie sich in schiefer Richtung bewegen. Der einfachste Fall ist, wenn ein solcher bewegter Körper gegen eine ruhende Fläche stöfst, wobei das allgemeine Gesetz gilt, dafs der Einfallswinkel dem Ausfallswinkel gleich ist.

Es sey die Ebene e f; der Körper bewege sich in der Fig. 4.} Richtung a c, so ist diese die Diagonale der beiden Kräfte a e und a d. Durch die Rückwirkung der Elasticität wird a e = c d, und da c f = a d bleibt, so mufs der Körper die Linie c b durchlaufen, wobei u = v.

Dieses Gesetz ist allgemein auch für das Licht und die strahlende Wärme gültig.

§. 28.

Die vorzüglichste bewegende Kraft, welche wir im ganzen Sonnensysteme, und auch insbesondere auf unserer Erde wirkend erkennen, ist die Schwere. Sie ist das Resultat der Attraction unserer Erde, welche in Gemäfsheit dieser, aller wägbaren Materie eigenthüm-

---

1) S. Hugenii opera posth. II. 104.

lichen Qualität (§. 14) alle Körper anzieht und gegen sich fallen macht. Die Falllinie muss demnach, sofern die Erde sphärisch ist, verlängert in das Centrum derselben gehen, die Bewegung aber eine beschleunigte seyn. Auf verschiedene Weise hat man gefunden, dass die Räume, welche fallende Körper durchlaufen, im directen Verhältnisse des Quadrates der Zeiten stehen, oder dass der Raum $S = t^2 g$ ist, wenn t die Zeit und g eine beständige Grösse bezeichnet.

Die Geschichte der allmäligen Auffindung und Begründung dieser Gesetze ist sehr interessant [1]). Copernicus hatte zuerst richtigere Begriffe von der Schwere, als die Scholastiker vor ihm, aber durch Galilei wurden sie begründet, nachdem er durch die Bewegungen der Kronleuchter im Dome zu Pisa darauf geleitet war, und nachher 1602 in seiner Antrittsdissertation die Sache genauer bestimmte, sich dadurch aber eine Menge Gegner, unter andern den Mathematiker Baliani, zuzog, so dass er sich von Pisa entfernte, und eine Lehrerstelle in Padua annahm.

Wenn man (nach §. 14) aller Materie die Eigenschaft der Attraction beilegt, so äussert sich diese nach Newton's Untersuchungen zuerst allgemein als eine der Masse directe und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionale Kraft, welche nach ihrem Begründer die Newtonsche Attraction genannt wird. Sie erstreckt ihre Wirkungen vermuthlich durch die unmessbar grossen Himmelsräume, sicherlich aber durch unser Sonnensystem, und wird als die beim Umlaufe der Himmelskörper um ihre Centralkörper wirksame Kraft auch Gravitation genannt. Diejenige Anziehung dagegen, welche durch die gesammte Masse der Erde gegen jeden mit ihr in Berührung oder in ihrer Nähe befindlichen Körper ausgeübt wird, heisst dann Schwere, und wird durch die Grösse des Raumes gemessen, durch welchen sie in einer gegebenen Zeit die Körper fallen macht.

Wir müssen dann gleichfalls zwischen Schwere und Gewicht unterscheiden. Die Schwere, als unmittelbare Wirkung der Masse unserer Erde, wirkt auf alle in ihrem Bereiche befindliche Körper gleichmässig, und diesemnach muss

[1]) S. Fischer Geschichte d. Physik. I. 41 ff. 270 ff.

alle Materie gleich schwer seyn. Daſs die Körper wiederum die Erde anziehen, kann hierbei vernachlässigt werden, weil ihre Masse gegen die der Erde verschwindend klein ist. Es müssen diesemnach ferner alle Körper gleich schnell fallen, indem durch die Schwere jedes einzelne Atom bewegt wird, und es gleichgültig ist, wie viele Atome in einem Körper und wie nahe sie vereinigt sind. Finden wir aber die Summe dieser schweren Atome durch Messung ihres Druckes gegen eine Unterlage, so erhalten wir das Gewicht des Körpers, welches, für sich genommen, das absolute, mit dem anderer Körper verglichen aber das relative oder specifische ist. Hat ein Körper n Theilchen und die Schwere eines jeden ist = w, so ist das Gewicht desselben w n.

Da die Schwere eine Gesammtwirkung aller Theile des Erdballs ist, und wir uns diese in seinem Schwerpuncte (dessen Erklärung s. unten) vereinigt denken können, so würde die verlängerte Falllinie in den Mittelpunct der Erde treffen. Weil aber die Erde sehr nahe ein elliptisches Sphäroid um die kleine Axe ist (sphéroide de revolution), und die Falllinie auf die Tangente an den Punct, wo der fallende Körper die Erde berührt, normal ist, so lehrt die Geometrie, daſs die verlängerte Falllinie bei 45° am stärksten, und zwar um einen Winkel von etwa 12 Minuten von einer in das Centrum gezogenen Linie abweicht [1]. Diejenige Linie, in welcher die Körper fallen oder zu fallen das Bestreben haben, die Falllinie, heiſst die lothrechte oder die senkrechte, und wird durch die Richtung eines mit einem schweren Körper verbundenen Fadens gegeben. Sie bildet mit einer die Erde berührenden horizontalen Ebene lauter rechte Winkel.

Weil die Schwere die Körper anhaltend afficirt, so müssen sie gegen eine Unterlage drücken, und wenn diese weggenommen wird, sich bewegen. Diese Bewegung, welche also von der Ruhe ausgeht oder anfangs = o ist, muſs diesemnach am Ende des ersten Zeittheilchens eine gewisse Gröſse erreicht haben, und würde ohne die fortdauernde Wirkung der Schwere in dieser Geschwindigkeit beharren. Durch die Fortwirkung der Anziehung muſs die Geschwindigkeit vermehrt werden, und so in einer arithmetischen Reihe fort.

---

1) S. Brandes in Gehler's phys. Wört. IV. 14.

Das jezt allgemein bekannte Gesetz, daſs die von einem fallenden Körper durchlaufenen Räume sich wie die Quadrate der Zeit verhalten, ist theils durch theoretische Untersuchungen, theils durch die Erfahrung aufgefunden. Die geometrische Demonstration des Galilei ist folgende: Wenn in der Linie a c die einzelnen Abtheilungen d, e, Fig. 5.] f, ... die Zeittheilchen, und die normalen d k, e l, ... die zugehörigen Geschwindigkeiten bezeichnen, so werden die Endpuncte der lezteren alle in die Diagonale a b treffen. Angenommen, daſs die Zeittheilchen verschwindend klein sind, so werden die Linien unendlich nahe kommen und den ganzen Flächenraum einnehmen (?). Es werden sich also die Fallräume wie die Flächen verhalten, und da das Dreieck a d k : Dreieck a c b $= ad^2 : ac^2$, so verhalten sich die Räume wie die Quadrate der Zeiten.

Besser ist folgende Darstellung. Wenn die Schwere stetig auf den Körper wirkt, so muſs in jedem meſsbaren Zeittheilchen eine meſsbare Zunahme der Geschwindigkeit statt finden, und wenn wir die anfängliche daher $= g$ setzen, so wird am Ende des ersten Zeittheilchens die Geschwindigkeit $c = 2g$ seyn. Beim Anfange des zweiten Zeittheilchens muſs nach dem Gesetze der Stetigkeit $c = 3g$ seyn, und wenn die Zunahme nach gleichen Gesetzen weiter geht, am Ende $c = 4g$ u. s. w. Dieses giebt, die durchlaufenen Räume den Geschwindigkeiten gleichgesetzt, für die

Zeiten 1 . 2 . 3 . 4 . . . . n
Räume 1 . 3 . 5 . 7 . . . . 2n — 1

und die Summe der lezteren $= n^2$, oder die Summe der Räume ist dem Quadrate der Zeiten gleich.

Den leichtesten und kürzesten Beweis giebt die Differentialrechnung. Ein mit gleichmäſsig beschleunigter Geschwindigkeit bewegter Körper nämlich wird während einer gegebenen Zeit $= t$ einen Raum $= g$ durchlaufen haben, welchen er in der nämlichen Zeit gleichfalls durchlaufen haben würde, wenn er diejenige Geschwindigkeit gehabt und mit dieser gleichmäſsig sich bewegt hätte, welche er in der Mitte des durchlaufenen Raumes erlangt hatte. Diesemnach würde er mit der am Ende des Raumes g erlangten Geschwindigkeit gleichmäſsig bewegt den Raum 2 g durchlaufen. Setzt man daher $t = 1$ Secunde, und unbestimmt hierfür g, so bezeichnet 2 g denjenigen Raum, welcher der in einer Secunde erlangten Geschwindigkeit $= v$ zugehört (vergl. §. 25). Hiernach ist also allgemein $v = 2gt$. Es

ist aber das Differential des Raumes ds im zusammengesetzten Verhältnisse der Geschwindigkeit und des Differentials der Zeit, und folglich ist $ds = v\,dt$ die Hauptgleichung für den Raum, welchen ein Körper mit beschleunigter Geschwindigkeit durchläuft. Wird hierin für v die gleiche Gröfse $2gt$ substituirt, so erhält man $ds = 2gt\,dt$, und da für $s = 0$ auch $t = 0$ wird, so ist hiervon das Integral $s = gt^2$. Hiernach ist dann ferner $t = \sqrt{\frac{s}{g}}$, und da $v = 2gt$ ist, für t substituirt wird $v = 2g\sqrt{\frac{s}{g}} = 2\sqrt{gs}$; auf gleiche Weise wird aus $s = gt^2$ für $t^2 = \frac{v^2}{4g^2}$ substituirt, $s = \frac{v^2}{4g}$, durch welche Gleichungen die Verhältnisse zwischen den Räumen, Zeiten und Geschwindigkeiten für Körper gegeben werden, die mit beschleunigter Geschwindigkeit fallen. Die Gröfse g ist durch Versuche nahe $= 15{,}13$ Par. Fufs gefunden.

Durch die Erfahrung suchten Riccioli und Grimaldi 1640 das von Galilei aufgestellte Gesetz zu bestätigen. Sie liefsen daher vom Thurme degli Asinelli acht Unzen schwere Kugeln von Kreide herabfallen, mafsen die Zeit mit einem Pendel für $1/6$ Secunden, und fanden, dafs für

6 . 12 . 18 . 24 Schwingungen
15 . 60 . 155 . 240 Röm. Fufs Räume gehörten.

Dieses giebt zwar völlig genau das Verhältnifs der Geschwindigkeiten $= 1 . 3 . 5 . 7$, und die Räume dem Quadrate der Zeit proportional. Allein die Fehlergrenze lag innerhalb des Zeitmafses [1].

Später sind noch mehrere Versuche, die genügendsten von Benzenberg, angestellt [2]. Völlige Genauigkeit ist wegen der grofsen Zunahme der Räume und des unvermeidlichen Widerstandes der Luft nicht zu erhalten. Man bedient sich daher lieber der Atwood'schen Fallmaschine, welche aus einem möglichst leicht beweglichen Rade und einer darüber gehenden Schnur mit Gewichten besteht, nebst einem Pendel, um die Zeit zu messen. Indem nun hierbei der Fallraum g des schweren Gewichtes im di-

[1]) S. Kästner Anfangsgründe d. Math. IX. 31 ff.
[2]) S. dessen lehrreiche Schrift üb. d. Umd. d. Erde. Dortmund 1801.

recten Verhältniſs des Unterschiedes und im umgekehrten der Summe beider Gewichte ist, oder $g' = g \frac{P - p}{P + p}$ seyn wird, und man $\frac{P - p}{P + p}$ dem Verschwinden immer näher bringen kann, so lassen sich die Räume hierdurch so vermindern, daſs man die Fallgesetze nach der Formel $S = g \left(\frac{P - p}{P + p}\right) t^2$ hiermit prüfen kann [1]). Die genauesten Resultate giebt das Pendel.

§. 29.

Die Schwere nimmt allen Beobachtungen gemäſs ab, wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen; und sie muſs daher dieser Gröſse, den Halbmesser der Erde als Einheit angenommen, proportional abnehmen, wenn man sich über die Oberfläche derselben erhebt. Aber auch schon aus dem Grunde, weil die Erde keine Kugel, sondern ein elliptisches Sphäroid, durch Umdrehung um die kleine Axe entstanden, ist, folglich nicht alle Körper in ihrer Oberfläche einen gleichen Abstand vom Centro haben, muſs die Schwere an verschiedenen Orten verschieden seyn.

Wir kennen dieses Gesetz bis jezt bloſs aus der Erfahrung. Wäre es zulässig, einen eigenen Stoff als Ursache dieser Erscheinungen zu denken, und diesen als vom Centro des anziehenden Körpers ausgehend sich vorzustellen, so würde dasselbe aus einer geometrischen Construction folgen. Ein solcher Stoff scheint aber kaum vorstellbar, und einige Versuche, die Erscheinungen der Schwere aus den Wirkungen eines ätherartigen materiellen Fluidums abzuleiten, haben zu keinem genügenden Resultate geführt.

Das Gesetz selbst ist, sowohl in der Astronomie, als auch in seinen anderweitigen Anwendungen, von gröſster Wichtigkeit. Bei einer Kugel vom Halbmesser $= r$ können wir allgemein setzen $g : g' = r^2 : (r + z)^2$, und die Schwere an der Oberfläche der Erde $= 1$ gesetzt, ist in der Er-

---

[1]) S. Fischer in Gilb. Ann. XIV. 1. Joh. Ign. Hoffmann die Lehre von der gleichförmig beschleunigten Bewegung. Heidelb. 1807. 8

hebung $x = \frac{r^2}{(r+x)^2}$. Auch folgt aus den Gesetzen der Attraction, dafs das Gewicht eines Atoms einer Kugel an der Oberfläche am gröfsten, in ihrer Mitte $= 0$ sey, und von der Mitte an nach der Oberfläche hin der Entfernung proportional zunehme, bis es in der Oberfläche $= 1$ ist, und von da an dem Quadrate der Entfernung über die Oberfläche proportional abnehme, den Halbmesser beim Messen dieser Entfernung als Einheit angenommen [1]. Nennen wir allgemein bei einer Ellipse den Parameter $= p$, Fig. 6] die beiden halben Axen $= a$ und b, die Excentricität $= \frac{a^2 - b^2}{a^2} = e^2$, so ist die Normale Nn für das Ellipsoid der Erde die verlängerte Falllinie, und es ist $Nn^2 = \frac{p^2}{1 = e^2 \sin^2 \text{lat.}}$, weil ANn durch den Sinus der Breite gemessen wird. Da sich nun die Schwere umgekehrt wie das Quadrat der Entfernungen verhält, so mufs sie unter den Breiten L und $l = \sqrt{1 - e^2 \sin.^2 l} : \sqrt{1 - e^2 \sin.^2 L}$, also die Schwere unter einer beliebigen Breite zur Schwere unter dem Aequator $= 1 : \sqrt{1 - e^2 \sin.^2 \text{lat.}}$ seyn. Setzen wir für unsere Erde $a = 3271691^t$; $b = 3260964^t$, so ist $e^2 = 0{,}00655$, mithin die Schwere unter dem Aequator $= 0{,}99672$, und diesemnach $g = 15{,}08$, mithin nur 0.05 Fufs geringer, als unter dem Pole. Ist daher unter dem Pole der Fallraum $g = 15{,}13$ Par. F., so beträgt er hiernach unter dem Aequator nur 15,08.

§. 30.

Da die Erde nicht ruhet, sondern sich binnen 24 Stunden einmal um ihre Axe wälzt, mithin allen an dieser Rotation Antheil nehmenden Körpern eine der Schwere entgegenwirkende Schwungkraft mittheilt, so mufs aus diesem Grunde die Schwere der Körper unter dem Aequator, wo die Schwungkraft am stärksten ist, am kleinsten seyn.

Das Verhältnifs der Schwungkraft zur Schwere ist oben §. 25 gefunden, und wird durch die Formel $k = \frac{v^2}{2rg}$ aus-

1) Langsdorf Handb. d. Mech. 306 ff.

gedrückt. Nehmen wir auf unserer Erde zur Bestimmung der Geschwindigkeit eine Secunde mittlerer Sonnenzeit, deren 86164,091 auf einen Sternentag gehen, als Norm an, setzen wir g, nach Pendelversuchen, in sehr genähertem Werthe = 15,13 Par. Fuſs, den Halbmesser der Erde unter dem Aequator nach Gradmessungen = 3271952 Tois. oder 19631712 Par. F., so beträgt der Umfang $= 2 r \pi = 20558000$ Tois., welche durch die angegebene Zahl der Secunden dividirt für eine Secunde einen Raum von 238,6 Tois. oder 1431,5 F. geben, welchen ein Punct im Aequator durchläuft. Heiſst dieser = v, so giebt die Formel $k = \frac{v^2}{2gr}$ das Verhältniſs der Schwungkraft zur Schwere $= \frac{2049400}{594050000}$ oder $= \frac{1}{289,87}$. Newton rechnete $\frac{1}{289}$, La Lande [1]) $\frac{1}{287}$, und so alle übrige mit unmerklicher Abweichung von diesem Resultate. Es beträgt aber $\frac{1}{289,9} \times 15,13$ F. nur 0,052 F., und um so viel ist also der Fallraum in einer Secunde in Folge der Schwungkraft unter dem Aequator geringer, als unter dem Pole. Indem ferner die Schwungkraft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional und $\sqrt{289,9} = 17,025$ ist, so müſste sich die Erde noch 17mal so schnell bewegen, wenn die Schwungkraft unter dem Aequator der Schwere gleichkommen sollte, in welchem Falle dann ein mit der geringsten Geschwindigkeit in die Höhe geworfener Körper nicht wieder zur Erde fallen würde. Die hiernach gefundene Schwungkraft ist diejenige, welche unter dem Aequator statt findet, nach den Polen hin aber abnehmen, und unter denselben ganz verschwinden muſs, wie sich auf folgende Weise zeigen läſst. Es sey
Fig. 7.] AB die Erdaxe; EC der Erdhalbmesser im Aequator; EB ein Quadrant der Erde; die Puncte 45°; 60°; 90°.... bezeichnen willkührliche Oerter auf der Oberfläche der Erde, wo sich Körper befinden, welche mit der Erde zugleich um die Axe AB umgeschwungen werden, und die man sich daher gleichsam an den Linien 45° b; 60° c.... befestigt vorstellen kann. Es sind dann in den rechtwinklichen Dreiecken die Linien 45° α; 60° β..... die sinus, und

[1]) S. Astron. §. 3395.

αC; βC.... oder die ihnen gleichen 45°b; 60°c;..... die cosinus der Breite, deren Enden bei der Axendrehung der Erde in 24 Stunden einen ganzen Kreis beschreiben. Indem aber diese Kreise sich verhalten wie ihre Radien, die Geschwindigkeiten aber wie die durchlaufenen Räume, oder hier die Kreise (§. 21), so muſs die den Körpern ertheilte Schwungkraft sich verhalten, wie das Quadrat des cosinus der Breite (§. 25). Heiſst also die Schwungkraft unter dem Aequator $= k$, so ist sie unter einer beliebigen Breite $= k' = k \cos.^2$ lat., und da $\cos.^2 = 1 - \sin.^2$ ist, so wird $k' = k\,(1 - \sin.^2$ lat.), wonach sie unter dem Pole $= 0$ und unter dem Aequator $= 1$, d.h. nach der gefundenen Bestimmung $= 0{,}052....$ Par. Fuſs ist.

Durch die Schwungkraft wird also die Schwere unter dem Aequator um 0,052, durch die Ellipticität um 0,05 F., also durch beide um 0,102 vermindert; und es wird also g unter dem Aequator = 15,008, unter dem Pole = 15,13 seyn. Es ist aber nach der oben gegebenen Formel

$$\frac{1}{\sqrt{1 - e^2 \sin.^2 l}} = (1 + \tfrac{1}{2}\, e^2 \sin.^2 l + \frac{1.3}{2.4}\, e^4 \sin.^4 l + ..),$$

und weil e ein kleiner Bruch ist, so kann man die Zunahme der Schwere nach dem Pole hin $= \tfrac{1}{2}\, e^2 \sin.^2 l$ setzen, wonach sie dem Quadrate des sin. der Breite nahe proportional seyn wird. Auch die Vermehrung der Schwere durch Abnahme der Schwungkraft ist demnach dem Quadrate des Sinus der Breite proportional, und wir können also, mit Beibehaltung dieser Gröſsen, wenn g den Fallraum unter dem Aequator, g' unter einer beliebigen Breite bezeichnet, $g' = g\,(1 + (0{,}0034495 + 0{,}00327) \sin.^2$ lat.$) = g\,(1 + 0{,}0067195 \sin.^2$ lat.) setzen. Unter dem 45sten Grade würde hiernach g = 15,058334 seyn, welches mit den Beobachtungen nahe übereinstimmt [1]).

§. 31.

Die Schwere, als Wirkung der Anziehung der Erde, muſs hiernach einen jeden Körper zum Fallen sollicitiren, er sey ruhend oder bewegt. Wird derselbe durch irgend ein unüberwindliches Hinderniſs an der Bewegung des Fallens gehindert, so übt er gegen den hindernden Körper einen Druck aus, welcher der Ge-

---

[1]) S. Laplace M. d. H. II. p. 64. Bohnenb. Astron. 639.

sammtwirkung seiner schweren Theile oder seinem Gewichte proportional ist. Wenn er dagegen beweglich ist, so wird er nach dem angegebenen Gesetze durch die Schwere vermögt werden, mit beschleunigter Geschwindigkeit zu fallen, in so weit er hieran nicht durch eine andere, der Richtung seines Falles entgegenwirkende, bewegende Kraft gehindert wird, wobei der Widerstand der Mittel einstweilen unberücksichtigt bleibt.

Der im Paragraphen aufgestellte Satz, daſs die Schwere auf alle Körper stets wirkt, und sie unablässig zum Fallen sollicitirt, sie daher allezeit, und zwar mit beschleunigter Geschwindigkeit fallen werden, so weit dieses möglich ist, bedarf keines Beweises, weil er aus dem Begriffe der Schwere nothwendig folgt. Dennoch aber werden die Folgerungen desselben sehr häufig nicht hinlänglich gewürdigt, indem manche den bei anderweitigen Bewegungen der Körper zugleich stattfindenden Einfluſs der Schwere übersehen. Alle die zahlreichen Anwendungen der Fallgesetze und der Wirkungen, welche die Schwere erzeugt, hier beizubringen, würde zu viel Raum erfordern. Am auffallendsten und deutlichsten zeigen sich dieselben im sogenannten ballistischen Probleme, oder in der Construction der Bewegungsgesetze geworfener Körper, und diese lassen sich auf folgende Hauptsätze zurückbringen:

1) Wird ein Körper lothrecht in die Höhe geworfen, so müſste er nach dem Gesetze der Trägheit in gleichen Zeiten durch gleiche Räume aufsteigen; indem ihn aber das Bestreben, herabzufallen, dennoch nicht verläſst, so wird er in der ersten Secunde g, in der zweiten 3g, in der dritten 5g.. ., in der nten $(2n-1)g$ herabfallen, bis diese leztere Gröſse seiner Anfangsgeschwindigkeit gleich ist, und er in den Zustand der Ruhe kommt. Von diesem Momente an muſs er mit beschleunigter Geschwindigkeit, den Fallgesetzen gemäſs, herabfallen, bis er an dem Orte seines anfänglichen Steigens wieder ankommt. Hieraus folgt, daſs ein lothrecht geworfener Körper die doppelte Zeit gebraucht, um aufzusteigen und herabzufallen, als er für das Leztere allein bedürfte, und daſs er am ursprünglichen Orte mit eben der Geschwindigkeit wieder ankommt, mit welcher er aufzusteigen anfing, mithin auch bei unver-

änderter Masse ein gleiches Moment der Bewegung hat. Wäre daher eine lothrecht geschossene Büchsenkugel gerade vermögend, bei ihrem Herausfahren aus der Mündung des Geschützes ein Brett von gegebener Dicke zu durchbohren, so würde sie aus einer gleichen Höhe, als wohin das Geschütz sie aufsteigen macht, herabfallend dieses nämliche Brett zu durchbohren vermögend seyn.

2) Wird dagegen ein Körper mit einer gegebenen Geschwindigkeit lothrecht herabgeworfen, so durchläuft er, hiernach allein, in n Zeittheilchen n s Räume, wenn s den in einem Zeittheilchen, z. B. einer Secunde, durchlaufenen Raum bezeichnet. Indem er aber zugleich mit beschleunigter Geschwindigkeit herabfällt, so wird er in der ersten Secunde $s + g$, in der zweiten $s + 3g$, in der n ten $s + (2n - 1)g$ herabfallen, und bei seiner Ankunft dasjenige Moment der Bewegung haben, welches dem zulezt durchlaufenen Raume oder der hierzu erforderlichen Geschwindigkeit proportional ist.

Beide Sätze lassen sich geometrisch auch auf folgende Weise anschaulich machen. Nach den in §. 28 aufgestellten Formeln ist der Raum $s = gt^2$; $v = 2gt$; $v^2 = 4gs$; also $s = \frac{v^2}{4g}$ die Höhe, welche ein Körper herabfallen mufs, um eine gewisse Geschwindigkeit zu erlangen, oder die der Geschwindigkeit zugehörige Fallhöhe. Hat ein Körper nach der Richtung der Schwere die Geschwindigkeit $= v$, so durchläuft er in t Zeit den Raum vt, und wegen der Schwere noch den Raum gt^2, also im Ganzen $vt + gt^2 = t(v + gt)$, worüber sich nichts Weiteres bestimmen läfst. Wird er dagegen in die Höhe geworfen, so wirkt die Schwere entgegen, und am Ende der Zeit t ist seine Geschwindigkeit $v' = v - 2gt = o$, indem er die der Geschwindigkeit zugehörige Höhe erreicht hat. Es ist dann $v^2 = 4g^2t^2 = 4gs$; folglich ist die Höhe, bis zu welcher der Körper steigt, $= \frac{v^2}{4g}$, d. i. gleich der Höhe, von welcher er hätte fallen müssen, um die anfängliche Geschwindigkeit $= v$ zu erreichen; und da $4g^2t^2 = 4gs$ ist, so ist $gt^2 = s$, oder die Zeit des Steigens ist der des Fallens gleich [1])

3) Wenn ein Körper in genau horizontaler Richtung geworfen wird, so ist die Richtungslinie seines Fallens auf

---

[1]) Vergl. Bohnenberger Astron. S. 418.

diese seine Bahn perpendiculär, und beide Bewegungen können sich daher nach mechanischen Gesetzen weder befördern noch hindern. Am anschaulichsten wird dieses, wenn man sich vorstellt, es werde auf einem Thurme über einer völlig horizontalen Ebene eine Geschützkugel in genau horizontaler Richtung abgeschossen, und von dem Anfangspuncte ihrer Bahn aus fiele eine andere Kugel lothrecht herab, in welchem Falle beide gleichzeitig auf der Ebene anlangen müfsten, wie grofs man auch die Geschwindigkeit der ersteren Kugel, und somit den von derselben durchlaufenen Raum setzt. Hieraus folgt aber von selbst, dafs es, in dieser Beziehung genommen, keinen eigentlichen sogenannten Kernschufs giebt, vielmehr wird die Kugel in jedem Theile ihrer Bahn herabsinken, und zwar wird der Raum, um welchen sie, herabgesunken oder lothrecht, am Ende der Zeit t herabgefallen ist, $s = t^2 g$ seyn. Dauert es daher 0,5 Sec., bis die aus einer Büchse abgeschossene Kugel die Scheibe erreicht, so wird sie $(1/2)^2 \times 15$ Par. F. $= 3,75$ F. herabgesunken seyn, und der Lauf des Geschützes müfste daher einen solchen Winkel mit dem Horizonte bilden, dafs die verlängerte Axe desselben um 3,75 F. über dem Centro der Scheibe dieselbe träfe.

Die Bahn, welche die Kugel hiernach durchläuft, kann keine gerade Linie als die Diagonale beider sie bewegenden Kräfte seyn, vielmehr mufs sie sich in einer krummen Linie bewegen, da die eine, ihre horizontale Bewegung gebende, Kraft eine gleichmäfsige, die andere, ihre lothrechte Bewegung hervorbringende, aber eine beschleunigte Bewegung erzeugt. Die Geometrie zeigt, dafs die Curve eine Apollonische Parabel sey, wie Galilei zuerst nachwies. Heifst nämlich die beständige Gröfse $\frac{1}{g} = a$, werden die Zeiten $= t$ als Ordinaten, die Räume s als Abscissen construirt, so giebt $as = t^2$ die Gleichung für die Parabel. Diese läfst sich zeichnen, wenn man die Linie A B als diejenige betrachtet, in welcher die Kugel in gleichen
Fig. 8] Zeiten die gleichen Räume I; II; III; IV durchläuft, auf diese im Anfangspuncte der Bewegung aber die perpendiculäre A 4 fället, und den Raum A 1 $= g$ nimmt. Theilt man demnächst die Linie A 4 in eine hinlängliche Menge solcher gleicher Theile, nimmt hiervon für I; II; III; IV, die nach einer arithmetischen Reihe wachsenden Mengen 1; 3; 5; 7, so geben die Durchschnittspuncte der so gezogenen Linien die Puncte der gesuchten Bahn A $\alpha\beta\gamma\delta$ an,

welche sich dem Anblicke nach als eine Parabel zeigt. Die bekannten, durch s'Gravesande [1]) angegebenen sogenannten parabolischen Maschinen können dieses wegen mancher unvermeidlicher physischer Hindernisse nur unvollkommen erläutern.

4) Wenn ein Körper in einer Richtung geworfen wird, welche mit der horizontalen Ebene einen Winkel bildet, so liegt die Richtungslinie entweder unter der Horizontalebene oder über derselben. Der erstere Fall liefse sich zwar leicht erläutern, es ist dieses aber bisher nur wenig geschehen, weil er selten oder nie vorkommt; der zweite dagegen ist desto häufiger untersucht, weil er bei der Ballistik allgemein in Anwendung kommt. Auch in diesem Falle durchläuft der Körper eine Bahn, welche zwei gleiche Arme einer Parabel bildet, und wird dabei hauptsächlich die gröfste Höhe und gröfste Weite des Wurfes untersucht. Ist φ der Neigungswinkel des Wurfgeschützes, so wird die Kugel so viel längere Zeit ausbleiben, je später sie in Folge der erreichten Höhe wegen ihres gleichzeitigen Herabfallens die Erde wieder berührt. Wäre nämlich der Neigungswinkel $= 0$, so würde sie im ersten Zeitmomente die horizontale Ebene erreichen, welche die untere Fläche der Geschützöffnung berührt, und die Zeit ihres Fluges steht daher im directen Verhältnisse ihrer Geschwindigkeit und ihres Neigungswinkels, und im umgekehrten ihrer Fallgeschwindigkeit, oder $t = \frac{v \sin. \varphi}{2g}$. Die gröfste Höhe, welche sie erreichen kann, ist ferner diejenige, welche durch ihr Aufsteigen gegeben wird, weniger derjenigen, welche sie gleichzeitig wieder herabfällt, oder $s = v t \sin. \varphi - t^2 g$, wofür substituirt $\frac{v^2 \sin.^2 \varphi}{2g} - \frac{v^2 \sin.^2 \varphi}{4g} = \frac{v^2 \sin.^2 \varphi}{4g}$ wird. Die Weite des Wurfes durch beide Schenkel der Parabel ist dem Cosinus des Neigungswinkels, der Zeit des Fluges und der Geschwindigkeit proportional, also $s' = 2 t v \cos. \varphi$, und für t substituirt, giebt $s' = \frac{v^2 \sin. \varphi . \cos. \varphi}{g}$. Das Product des Sinus in den Cosinus ist aber am gröfsten, wenn der Winkel $= 45°$ ist, welcher daher den weitesten Wurf giebt.

---

[1]) Physices Elementa math. I. Cap. 20. Tab. XIII.

Alle diese Bestimmungen sind zwar richtig, aber nur unter der Bedingung, dafs die Bewegung im leeren, keinen Widerstand leistenden Raume, stattfindet Durchläuft die Kugel Räume, worin sich atmosphärische Luft befindet, so ist der durch diese ausgeübte Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit nahe genau proportional, und die Analysis hat noch kein Mittel gefunden, die alsdann beschriebene Bahn genau zu bestimmen. Die meisten Gelehrten nehmen an, die Kugelbahn bestehe aus zwei hyperbolischen Schenkeln, deren Asymptoten die eine der Axe des Geschützes parallel, die andere aber auf der horizontalen Ebene lothrecht sey, womit indefs für die Praxis nicht viel gewonnen ist. Blofs bei langsamen Bewegungen, wobei der Widerstand der Luft nicht bedeutend ist, kommt die Theorie von der parabolischen Bahn mit der Erfahrung überein, und läfst sich leicht construiren. Wäre nämlich Fig. 9.] die Richtung der Kugel = ce, käme sie in der ersten Secunde ohne die Einwirkung der Schwere bis g, so müfste sie in 6 Secunden die horizontalen Räume 1; 2; 3; 4; 5; 6 durchlaufen, zugleich aber in der ersten Secunde um den Raum g α in lothrechter Richtung herabsinken; in der zweiten Secunde müfste sie von α aus nach β gelangen, wenn sie durch die Schwere nicht zugleich bewegt würde, wird aber hiernach um drei Räume herabsinken und nach γ gelangen. Auf gleiche Weise müfste sie nach δ; ζ; ϑ; $\varkappa$ kommen, gelangt aber wirklich wegen ihres Herabfallens um 5; 7; 9; 11 Räume nach ε; η; ι; d. Zum Beweise und zur Versinnlichung dieser Sätze bedient man sich kleiner Mörser, aus welcher eine Kugel durch eine Feder fortgeschnellt wird, und nach der verschiedenen Neigung des Mörsers eine verschiedene, auf einem Brette gezeichnete Bahn durchläuft [1].

[1]) Unter den vielen Werken über diesen Gegenstand sind die wichtigsten: Robins neue Grundsätze der Artillerie. Uebersetzt von L. Euler. Berlin 1745. L. Euler in Mém. de Berlin T. IX. Lambert ebend. T. XXI. Kraft Acta Acad. Petrop. IV. P. I. p. 154. P. II. p. 175. Nov. Act. XI. 246. De Borda in Mém. de l'Acad. 1769. p. 247. Besout Abhandl. über die Kugelbahn. Stuttg. 1782. Le Gendre sur la question de ballistique proposée par l'Acad. Roy. de Prusse. Pour 1782. Tempelhof Bombardier Prussien. Berl. 4781. Moreau in Journ. de l'École Polytechnique. Cah. II. p. 293. Poisson in Traité de Méc. I. 345. Hutton Tracts on mathematical and philosoph. subjects. Lond. 1812. III vol. 8. Encycloped. Brit. Art. Gunnery. Recherches sur les meilleurs effets à obtenir dans l'Artillerie. Par le Comte de Martillière. 2me ed. Par. 1819. II vol. 8.

Wie bedeutend die Wirkung des Luftwiderstandes sey, ergiebt sich daraus, daſs eine im leeren Raume lothrecht geschossene 24pfündige Kanonenkugel 66000 F. erreichen würde, im luftvollen aber nur 5782 F.; die gröſste Weite einer Kugel unter jener Bedingung ist 125000 F., unter dieser aber nur 12632 F. Die gröſse Weite im nichterfüllten Raume giebt auſserdem ein Elevationswinkel von 35°.

Man nimmt meistens an, die verticale Ebene, worin sich die Kugel bewegt, sey eine gerade, allein die Versuche von Robins und Hutton beweisen das Gegentheil. Die Ursache dieser Abweichung von der geraden Ebene liegt darin, daſs die Kugel vor sich verdichtete, hinter sich verdünnte Luft oder einen luftleeren Raum hat, wenn ihre Geschwindigkeit gröſser als 1300 F. ist, mit welcher ohngefähr die Luft in ein Vacuum strömt. Wenn dann die Kugel um eine andere Axe, als die in ihrer Bahn liegende, rotirt, wie meistens aus verschiedenen Ursachen geschieht, so treten hiernach ihre Theile in ungleich dichte Medien, und sie wird hierdurch von der geraden verticalen Ebene abgelenkt. Eben deswegen haben die gezogenen Büchsen zwischen 0,75 bis 1,25 Mal umgewundene Reifen, in welche die Kugel gepreſst wird, und hierdurch eine Rotation um die in ihrer Bahn liegende Axe erhält.

Da die Fallgesetze oben (§. 28) durch eine Differentialformel bestimmt sind, so mag hier eine oft verhandelte und leicht sich darbietende Aufgabe gleichfalls aus jener abgeleitet werden. Fängt ein Körper in nicht beträchtlicher Entfernung von der Oberfläche der Erde an zu fallen, so kann unbedenklich angenommen werden, daſs die Schwere ihm eine Geschwindigkeit ertheilt, wonach er in 1 Sec. durch den Raum $= 2g$ fällt. Fängt er aber in beträchtlicher Entfernung über der Oberfläche der Erde an zu fallen, so ist die ihn afficirende Schwere geringer, und zwar im Verhältniſs von $\frac{r^2}{(r+x)^2}$ (§. 29). Wird daher die Erde als eine Kugel vom Halbmesser $= r$ betrachtet, an deren Oberfläche die Schwere $= 1$ ist, und ein Körper fängt in der Entfernung $= x$ vom Mittelpuncte derselben an zu fallen; nimmt man ferner an, daſs dem Differential der Geschwindigkeit ein Differential der Zeit zugehört, oder daſs $dv = 2g\,dt$ ist (§. 28), so ist für die angenommene weitere Entfernung $dv = 2g\frac{r^2}{x^2}dt$, und weil mit zuneh-

mender Höhe die Geschwindigkeit abnimmt, oder die um ein Differential der Zeit wachsende Geschwindigkeit einem abnehmenden Differentiale des Raumes zugehört, also $v = -\frac{dx}{dt}$ seyn muſs, so ist $v\,dv = -2g\frac{r^2 dx}{x^2}$. Nach einer leichten Integration, da $\frac{dx}{x^2} = -\frac{1}{x}$ ist, wird hieraus $v^2 = 4gr^2\frac{1}{x} + \text{Const.}$ Um die Constante zu finden, darf man nur annehmen, daſs die Geschwindigkeit $v = c$ war in einer Entfernung vom Mittelpuncte der Erde $x = a$, wonach dann $c^2 = 4gr^2\frac{1}{a}$, und das vollständige Integral $v^2 - c^2 = 4gr^2\left(\frac{1}{x} - \frac{1}{a}\right)$ ist. Heiſst also für den Halbmesser der Erde, als Kugel angenommen, $= r$ (§. 219), die Entfernung vom Mittelpuncte bis zur Oberfläche $= x$, die Entfernung des fallenden Körpers vom Mittelpuncte der Erde $= a$, so ist

$$v = \pm\sqrt{\left(c^2 + \frac{4gr(a-x)}{ax}\right)}$$

und wenn er aus der Ruhe zu fallen anfing, also $c = 0$ war

$$v = \pm\sqrt{4gr^2\left(\frac{a-x}{ax}\right)}$$

diejenige Geschwindigkeit, mit welcher er auf der Oberfläche der Erde ankommt. Die Zeit, welche er hierzu gebraucht, kann nicht auf gleiche Weise leicht gefunden werden, weswegen ich nur das Resultat hersetze, nämlich

$$t = \frac{1}{2r}\sqrt{\frac{a}{g}}\left(\sqrt{(ar - r^2)} + \tfrac{1}{2}a\,\text{Arc. cos.}\frac{2r-a}{a}\right).$$

Man hat gefragt, wie ein Körper fallen würde, wenn er von der Oberfläche der Erde bis in ihren Mittelpunct fiele. Obgleich diese Aufgabe physikalisch nicht wohl statthaft ist, so läſst sich doch nach den bisherigen Betrachtungen Folgendes darüber sagen. Es muſs hierbei vorzüglich berücksichtigt werden, daſs die Schwere im Mittelpuncte der Erde $= 0$ ist, folglich mit abnehmender Stärke auf den fallenden Körper wirkt. Es sey zu diesem Ende EC der Fig. 7.] Halbmesser der Erde $= r$; die Entfernung $C\alpha$ vom Mittelpuncte $= x$; die Geschwindigkeit eines von der Erdoberfläche bis α herabgefallenen Körpers $= v$; die Zeit

dieses Fallens $= t$; der Fallraum in E für eine Secunde $= g$; der Fallraum in α für eine Secunde $= f$, so ist

$$CE : C\alpha = 1 : f \text{ und } rf = x; \text{ also } f = \frac{x}{r}$$

weil die Anziehung vom Mittelpuncte der Erde an bis zu ihrer Oberfläche der Entfernung vom Centro oder dem wachsenden Halbmesser direct proportional ist (§. 29). Es ist dann auf gleiche Weise wie oben $dv = 2g \frac{x}{r} dt$, und da auch hier $v = -\frac{dx}{dt}$ ist, so ergiebt sich mit diesen Gröfsen auf beiden Seiten multiplicirt, $v dv = -\frac{2g x dx}{r}$. Hiervon das Integral giebt $v^2 = -\frac{2g x^2}{r} + \text{Const.}$ Setzt man für $v = 0$ die Gröfse $x = r$, wie gleich anfangs angenommen wurde, so ist $\text{Const.} = \frac{2g r^2}{r}$ und das vollständige Integral $v^2 = 2g \left(\frac{r^2 - x^2}{r}\right)$ oder $v = \pm \sqrt{2g \left(\frac{r^2 - x^2}{r}\right)}$. Heifst dann die Linie $\alpha\, 45^\circ = p$; die Linie $CB = q$, so ist $v = 2g \frac{p}{q}$, d. h. die Geschwindigkeit eines von der Oberfläche nach dem Centrum fallenden Körpers, welche er in irgend einem Puncte im Innern erlangt hat, verhält sich wie das Perpendikel auf diesen Punct. Kommt der Körper im Centro an, so ist seine Geschwindigkeit $v = \sqrt{2gr}$, also $2g = 30$ F. und $r = 19609050$ F. gesetzt, giebt 24254 F.

Für die Zeit hat man $v dt = -dx$, also $dt = -\frac{dx}{v}$ und den oben erhaltenen Werth für v substitutuirt,

$$dt = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{-dx}{\sqrt{(r^2 - x^2)}}$$

welches integrirt $t = \sqrt{\frac{r}{2g}} . \text{arc. cos.} \frac{x}{r}$ giebt. Die Zeit des Falles eines Körpers von E bis α verhält sich also wie der zugehörige Bogen E 45°. Rückt α bis C hinab, so wird $t = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{EB}{BC} = 1{,}5708 \sqrt{\frac{r}{2g}}$. Hiernach beträgt für die angegebenen Gröfsen $t = 1270''$ oder 21 Min. 10 Sec.

als die Zeit des Fallens von der Oberfläche bis zum Centrum. Diese nämliche Zeit verwendet der fallende Körper auf jedem Raume, in welchem Puncte zwischen C und E er auch zu fallen anfangen mag. Ist nämlich diese Entfernung $= n$, so wird aus der obigen Gleichung für v:

$$v = \sqrt{\left(\frac{2g}{r}(n^2 - x^2)\right)}$$

$$\text{also } dt = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{dx}{\sqrt{(n^2 - x^2)}}$$

$$\text{mithin } t = \sqrt{\frac{r}{2g}} \text{ arc. cos. } \frac{x}{n}$$

$$\text{und für } x = o : t = \sqrt{\frac{r}{2g}} \text{ arc. cos. } o = 1{,}5708 \sqrt{\frac{r}{2g}}.$$

Indem endlich die erreichte Geschwindigkeit den Körper eben so hoch treibt, als er gefallen ist, so würde derselbe beim wirklichen Falle nach der Ankunft im Centro wieder bis zur entgegengesetzten Oberfläche steigen, dann abermals umkehren, und auf dem Falle durch die ganze Erde 42′ 20″, bis zur Rückkehr an seinen ersten Ort aber 1 Stunde, 24 Min., 40 Sec. gebrauchen [1].

§. 32.

Wenn ein Körper zum Theil unterstützt ist, und daher den Gesetzen des freien Falles nicht folgen kann, so werden die Fallräume für gleiche Zeiten geringer werden, wie wir dieses beim Falle auf der schiefen Ebene sehen.

Fig. 10. Wenn eine Kugel auf der schiefen Ebene CB herabfällt, deren Neigungswinkel $= \varphi$ ist, so ist cb die Richtungslinie ihres Falles. Sie zerfällt in die Richtungen ce und ca. Da erstere durch den unüberwindlichen Widerstand der Ebene $= o$ wird, so bleibt blofs die leztere, als der Theil der Kraft, womit sie fällt. Es ist aber das Dreieck cba ähnlich dem Dreieck CBA, und es verhält sich daher der Fall auf der geneigten Ebene p′, zum freien Falle p, wie ca : cb = CA : CB, d. h. die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge. Es ist aber CA : CB = sin. φ, folglich ist $p' = p. \sin. \varphi$.

---

[1]) Vergl. Brandes in Gehler phys. Wört. IV. S. 10 ff. Hutton Tracts. III. 334.

Folgerungen dieses Gesetzes sind:

1) Wenn eine Last auf einer geraden geneigten Ebene bewegt wird, so ist für den Zustand des Gleichgewichts die hierzu erforderliche Kraft $= Q$, die zu bewegende Last $= P$, den Neigungswinkel $= \varphi$ gesetzt, im Falle daſs die Richtung der Kraft der Oberfläche der Ebene parallel ist, $Q = P \sin. \varphi$, ist sie dagegen der Basis der Ebene parallel oder horizontal, so ist $Q = P \text{ tang. } \varphi$. Bei der Bewegung der Lasten auf einer horinzontalen Ebene wird das ganze Gewicht derselben durch die Ebene selbst getragen, mithin bleibt bloſs die Reibung zu überwinden; soll dieselbe aber bergan bewegt werden, so ist erforderlich, einen aliquoten Theil ihrer Last zu heben. Ist daher bei einem Frachtwagen z. B. die Ueberwindung der Reibung $= 1/_{15}$ der Last, wäre die Kraft der Pferde so abgemessen, daſs sie hierzu gerade hinreichte, und sollte dann derselbe auf einen Berg von 30° Neigung gezogen werden, wobei die hier noch weiter zu überwindende Last dem Sinus des Neigungswinkels proportional, also $= 1/_2$ ist, so würden hierzu noch eine Anzahl Pferde, im Verhältniſs von $1/_2 : 1/_{15}$ also 7,5 mal so viele erforderlich seyn, woraus schon folgt, daſs dieses in der Ausführung unmöglich wäre. Lieſse sich ferner annehmen, daſs die Kraft eines bergan ziehenden Pferdes der auf horizontaler Ebene ausgeübten gleich wäre, so ist für den Sinus $= 1/_{15}$ der Winkel $= 3° 50'$, und gröſser dürfte daher die Neigung nicht seyn, wenn man mit der doppelten Anzahl Pferde oder einer doppelten Anstrengung der angespannten ausreichen wollte.

Gewöhnlich schätzt man die Elevationen gröſser als sie wirklich sind, hat aber die verschiedenen Gröſsen derselben, in wiefern sie bestiegen oder befahren werden können, genauer auszumitteln gesucht [1]. Nach v. Humboldt [2] machen 5° eine starke Elevation für das Fuhrwesen, und in Frankreich sind bei den groſsen Straſsen nur 4° 46′ zulässig, welches auf 12 F. 1 F. Erhebung beträgt. Auf einer um 15° geneigten Ebene kann ohne Hemmung ein Wagen nicht hinabfahren, 37° sind für einen Fuſsgänger zu steil, wenn der Boden Eis, Felsen oder kurzer Rasen ist, wo man keine Staffeln eingraben

[1]) G. W. Leonhardi Vorlesungen über d. Anfangsgründe d. Mathem. Bd. IV.

[2]) Reisen d. Ueb. I. 224.

kann, denn der Mensch fällt rückwärts, wenn sein Fuſs mit dem Schienbeine einen kleineren Winkel macht als $90^{\circ} - 37^{\circ} = 53^{\circ}$. Dagegen kann eine Ebene von 42° Neigung noch erstiegen werden, wenn man mit dem Fuſse Staffeln einzugraben vermag. Die mittlere Neigung der fast unersteiglichen vulcanischen Kegel ist 33° bis 40°, einige steilste Parthieen sind von 40° bis 42°. Läſst sich annehmen, daſs die Reibung beim Schleifen der Körper $\frac{1}{3}$ der Last beträgt, so würden auf einer Ebene von $19^{\circ}\ 28'$ Neigung Lasten gerade herabgleiten, weil sin. $19^{\circ}\ 28' = 0{,}333258$, also sehr nahe $\frac{1}{3}$ ist. Zur Versinnlichung der Sache dient eine geneigte Ebene, worauf man Klötzchen oder kleine Wagen herabgleiten läſst.

Der bergan laufende Kegel ist als eine Zusammensetzung von zwei stark geneigten Ebenen zu betrachten, welche von der Mitte nach den Enden hin sich erstrecken, und er wird daher scheinbar auf einer geneigten Ebene hinaufrollen, wenn diese weniger geneigt ist, als diejenigen sind, welche ihn selbst bilden, so daſs bei der Compensirung ein Ueberschuſs bleibt [1].

2) Die Endgeschwindigkeit $v' = v \sin. \varphi$, d. h. der Körper hat am Ende seines Falles von der geneigten Ebene eine Geschwindigkeit, als wenn er die Höhe derselben herabgefallen wäre. Beim Flieſsen des Wassers in Fluſsbetten trifft dieses nicht zu, weil die Krümmungen die erhaltene Geschwindigkeit stets wieder aufheben.

3) Wenn AD auf CB normal ist, so ist $CD : CA = CA : CB$, und es wird daher ein Körper in derselben Zeit den Raum CD durchlaufen, in welcher er von C nach A herabfällt.

§. 33.

Die geneigte Ebene ist eine sehr wichtige mechanische Potenz, welche nebst dem Hebel dem gesammten Maschinenwesen zum Grunde liegt, und daher in zahlreichen Anwendungen vorkommt. Hauptsächlich ist dieses der Fall beim Keile, bei der Schraube und beim Pendel.

Die geneigte Ebene kommt zunächst und unmittelbar beim Maschinenwesen in Anwendung beim Keile, welcher als

---

[1]) S. Kraft in Nov. Comm. Pet. VI. 389. Kononoff in Nov. act. Pet. VII. 229.

zwei mit ihren Grundflächen sich berührende geneigte Ebenen anzusehen ist. Nach der mitgetheilten Theorie wird also der Keil als geneigte Ebene sich mit so viel geringerer Kraft unter, die Last bewegen lassen, je geringer seine Höhe im Verhältnifs zu seiner Länge ist. Heifst daher die Länge desselben $= l$, der Winkel beider Flächen $= 2\varphi$, die bewegende Kraft $= k$, die Wirkung q, so ist $k : q = \frac{2 \text{ tang.} \varphi}{l} : 1$. also $q = \frac{k\, l}{2 \text{ tang.} \varphi}$. Die Theorie der Keile kann anschaulich gemacht werden durch Langsdorf's Gomphometer, zwei Bretter, welche mit einem zwischen ihnen liegenden, durch eine angemessene Kraft herabgezogenen Keile ins Gleichgewicht gebracht werden [1]). Der mechanische Effect des Keiles wird durch die starke Reibung desselben sehr vermindert. Nach den Gesetzen des Keiles wirken die Messer, Beile, Säbel u. s. w.

Die Schraube ist als eine geneigte Ebene anzusehen, welche um eine Walze gelegt ist, und es verhält sich die bewegende Kraft zur Wirkung, wie die Höhe einer Windung zum Umfange der Schraubenspindel. Die feinsten Schrauben sind daher die wirksamsten, wenn das Metall noch hält. Feine Mikrometerschrauben mit 144 Windungen auf 1 par. Zoll verfertigt Repsold in Hamburg, Fraunhofer hat noch feinere geliefert.

§. 34.

Auch das Pendel, welches zunächst als ein um einen festen Punct geschwungener Körper zu betrachten ist, kann bei der geneigten Ebene zur Untersuchung kommen; wenn man dasselbe als einen auf einer geneigten Ebene herabfallenden schweren Körper betrachtet.

Aus der oben §. 32 in Nro. 3 abgeleiteten Folgerung Fig. 11.] geht hervor, dafs jeder Körper in der nämlichen Zeit die Chorde DC durchläuft, in welcher er von AC herabfällt. Es wird aber die Chorde DC dem Bogen so viel näher kommen, je kleiner beide sind, und ein Körper, welcher

[1]) Handbuch der gemeinen und höheren Mechanik fester und flüssiger Körper. Von K. C. Langsdorf. Heidelberg 1807. 8. pag. 213.

an einem Faden cD aufgehangen ist, oder ein Pendel, kann daher die Chorde DC durchlaufend betrachtet werden. Ist cC die Länge des Pendels = L; die Zeit, in welcher die halbe Schwingung DC vollendet wird = t, so ist $t^2 g = 2L$, oder $t = \sqrt{\frac{2L}{g}}$, also für die einfache Schwingung DC + CE ist $t = 2\sqrt{\frac{2L}{g}}$.

Soll dieses allgemeine Gesetz auf das physische Pendel angewandt werden, so ist dabei zu berücksichtigen:

1) die Länge des Pendels, welche, für einen schweren Körper an einem nicht schweren Faden angenommen, nach dem Gewichte der Stange und des aufgehangenen schweren
Fig. 12] Körpers verschieden seyn mufs. Ist das Gewicht der Stange = P, des anhängenden Gewichtes, dessen Schwerpunkt in c ist = p, das Verhältnifs von Ac : AB = v : w,

so ist die corrigirte Länge $l' = \frac{\frac{1}{3}\lambda^2 P + \frac{v^2}{w^2}\lambda^2 p}{\frac{1}{2}\lambda P + \frac{v}{w}\lambda p}$, d. h. man

dividire das Trägheitsmoment des Pendels durch sein statisches Moment. Hier ist die ganze Schwere in c vereinigt gedacht. Wird auf die Form des angehängten schweren Körpers Rücksicht genommen, so ist das zweite Glied des Zählers bei einer kreisförmigen flachen Scheibe vom Halbmesser $= r = \left(\frac{v^2}{w^2}\lambda^2 + \frac{1}{4}r^2\right)p$ für eine Kugel $= \left(\frac{v^2}{w^2}\lambda + \frac{2}{5}r^2\right)p$ und für eine Linse, wenn wir den Halbmesser der Dicke = r′ setzen, welche also aus der Form einer Scheibe um so mehr in die Form einer Kugel übergeht, je mehr $\frac{r'}{r}$ sich der Einheit nähert, $\left(\frac{v^2}{w^2}\lambda^2 + \frac{r^2}{20}\left(8 - 3\frac{r'}{r}\right)\right)p$.

2) Da der Körper des Pendels nicht auf der Chorde bewegt wird, sondern im Bogen, so wird er sich so viel langsamer bewegen, je gröfser die Schwingungsbögen sind. Heifst der Elongationswinkel = α, so ist für den halben Schwung $t = \frac{1}{4}\pi\left(1 + (\frac{1}{2})^2\,\frac{\text{sin. v. }\alpha}{2L} + \left(\frac{1\,.\,3}{2\,.\,4}\right)^2\right.$

$\left(\frac{\text{sin. v. }\alpha}{2L}\right)^2 + \ldots\Big) \sqrt{\frac{2L}{g}}$, woraus man sieht, daſs bei der Kleinheit der folgenden Glieder für kleine Bögen $t = \frac{1}{4}\pi \sqrt{\frac{2L}{g}}$, also für den einfachen Schwung $t = \frac{1}{2}\pi \sqrt{\frac{2L}{g}}$ gesetzt werden könne.

Huyghens, der Erfinder des Uhr-Pendels um das Jahr 1656, wollte es nicht im Kreise, sondern in der Cykloide schwingen lassen, weil die Cykloide die merkwürdige Eigenschaft hat, daſs ein in derselben herabfallender Körper willkührlich groſse Bögen in gleichen Zeiten durchläuft, weswegen sie auch Tautochrone genannt wird [1]. Vorschläge dieser Art sind später wiederholt, allein ihre Ausführbarkeit ist zu schwierig, und eine scharfe Berechnung zur Reduction des Bogens auf die Chorde giebt genauere Resultate. Bei astronomischen Uhren ist es vielmehr vortheilhaft, wenn die Schwingungsbögen der Pendel nicht zu klein sind, weil sie dann geringere Störungen erleiden. Der durch die Gröſse dieser Schwingungsbögen entstehende Fehler ist übrigens ein constanter, welcher durch Verkürzung des Pendels compensirt, keinen weiteren Einfluſs hat. Bei den Messungen der Pendelschwingungen zur Bestimmung der Gestalt der Erde muſs die veränderliche Gröſse der Schwingungsbögen in Rechnung genommen werden.

3) Wegen der nach dem Pole hin zunehmenden Schwere (§. 29) muſs die Länge des Secunden-Pendels vermehrt werden, und zwar um eine der zunehmenden Schwere proportionale Gröſse, damit das Verhältniſs $\sqrt{\frac{2L}{g}}$ stets gleich bleibe; mithin muſs die corrigirte Länge $L' = L\,(1 + 0{,}0067195 \sin^2 \text{lat.})$ seyn. Weil aber diese Gröſse durch ein bestimmtes Axenverhältniſs gegeben ist, welches nicht aus allen Beobachtungen übereinstimmend gefunden wird, so stimmt dieselbe mit directen Beobachtungen des Pendels nicht durchaus überein. Eine Menge der genauesten Beobachtungen geben die Länge des Secunden-Pendels für mittlere Sonnenzeit unter dem Aequator = 439,2066 Linien, und unter dem Pole = 441,5928 Linien. Nach Theorie und Erfahrung ist die Vermehrung

[1]) C. Hugenii horol. oscill. Par. 1763. Vergl. van Swinden in Verhand. van het K. Ned. Instit. cet. te Amst. 1817.

dem Quadrate des Sinus der Breite proportional, also die corrigirte Länge in Linien $L' = 439{,}2066 + 2{,}3862 \sin.^2 \text{lat.}$ Setzt man $\sin.^2 \text{lat.} = \frac{1 - \cos. 2 \text{ lat.}}{2}$, so erhält man $L' = 440{,}3998 - 1{,}1932 \cos. 2 \text{ lat.}$, und für den 45sten Grad $L' = 440{,}3998$ Linien.

Will man bei der einmal angenommenen Normallänge Pendel für verschiedene Zeiten finden, so zeigt die Formel $t : t' = \sqrt{L} : \sqrt{L'}$, dafs die Zeiten den Quadratwurzeln der Längen proportional sind. Soll daher die Länge eines Pendels, welches n Schwingungen in einer gegebenen Zeit macht, auf ein anderes reducirt werden, welches m Schwingungen macht, z. B. wenn man die eigentliche Länge des Secunden-Pendels aus der genau bestimmten Länge eines Pendels zu bestimmen wünscht, dessen Schwingungen gezählt sind, so ist $L' = L \frac{m^2}{n^2}$. Anwendungen geben Uhrpendel und der musikalische Tactmesser, oder Mälzel's Metronom. Dieses zur genauen Bestimmung der Dauer eines Tactes in den verschiedenen Tonstücken sehr nützliche Werkzeug besteht aus einem hölzernen Pendel, welches in einem etwas über einen Schuh hohen Kästchen durch ein kleines Gewicht einige Minuten schwingend erhalten wird. Die hölzerne Pendelstange trägt unten eine Linse, über dem Aufhängungspuncte aber ist dieselbe verlängert und mit einem verschiebbaren Gewichte versehen. Hiernach werden die Schwingungen so viel langsamer, je höher man dieses schiebt, und die auf der verlängerten Pendelstange geschriebenen Zahlen geben dann die Menge der Schwingungen an, welche das Pendel in einer Minute macht, wenn man das Gewicht bis an dieselbe schiebt, also die Zeitdauer des Tactes [1]).

Aus den Pendellängen findet man am leichtesten die Fallräume, und überzeugt sich, dafs diese dem Quadrate der Zeit proportional sind. Nach der Formel ist nämlich $g = \frac{1}{2} L \frac{\pi^2}{t^2}$ und für 1 Secunde $g = \frac{1}{2} L \pi^2$, wonach der freie Fall in einer Secunde unter dem Aequator $= 15{,}05131$ Par. Fufs; unter dem Pole $= 15{,}13314$ Par. F.;

[1]) S. Leipz. musik. Zeit. 1813. 27 u. 48, 1814. 27 u. 41, 1815. 5. Allgem. Anz. d. D. 1814. 77 u. 101.

Wie bedeutend die Wirkung des Luftwiderstandes sey, ergiebt sich daraus, daſs eine im leeren Raume lothrecht geschossene 24pfündige Kanonenkugel 66000 F. erreichen würde, im luftvollen aber nur 5782 F.; die gröſste Weite einer Kugel unter jener Bedingung ist 125000 F., unter dieser aber nur 12632 F. Die gröſse Weite im nichterfüllten Raume giebt auſserdem ein Elevationswinkel von 35°.

Man nimmt meistens an, die verticale Ebene, worin sich die Kugel bewegt, sey eine gerade, allein die Versuche von Robins und Hutton beweisen das Gegentheil. Die Ursache dieser Abweichung von der geraden Ebene liegt darin, daſs die Kugel vor sich verdichtete, hinter sich verdünnte Luft oder einen luftleeren Raum hat, wenn ihre Geschwindigkeit gröſser als 1300 F. ist, mit welcher ohngefähr die Luft in ein Vacuum strömt. Wenn dann die Kugel um eine andere Axe, als die in ihrer Bahn liegende, rotirt, wie meistens aus verschiedenen Ursachen geschieht, so treten hiernach ihre Theile in ungleich dichte Medien, und sie wird hierdurch von der geraden verticalen Ebene abgelenkt. Eben deswegen haben die gezogenen Büchsen zwischen 0,75 bis 1,25 Mal umgewundene Reifen, in welche die Kugel gepreſst wird, und hierdurch eine Rotation um die in ihrer Bahn liegende Axe erhält.

Da die Fallgesetze oben (§. 28) durch eine Differentialformel bestimmt sind, so mag hier eine oft verhandelte und leicht sich darbietende Aufgabe gleichfalls aus jener abgeleitet werden. Fängt ein Körper in nicht beträchtlicher Entfernung von der Oberfläche der Erde an zu fallen, so kann unbedenklich angenommen werden, daſs die Schwere ihm eine Geschwindigkeit ertheilt, wonach er in 1 Sec. durch den Raum $= 2g$ fällt. Fängt er aber in beträchtlicher Entfernung über der Oberfläche der Erde an zu fallen, so ist die ihn afficirende Schwere geringer, und zwar im Verhältniſs von $\frac{r^2}{(r+x)^2}$ (§. 29). Wird daher die Erde als eine Kugel vom Halbmesser $= r$ betrachtet, an deren Oberfläche die Schwere $= 1$ ist, und ein Körper fängt in der Entfernung $= x$ vom Mittelpuncte derselben an zu fallen; nimmt man ferner an, daſs dem Differential der Geschwindigkeit ein Differential der Zeit zugehört, oder daſs $dv = 2g\,dt$ ist (§. 28), so ist für die angenommene weitere Entfernung $dv = 2g\frac{r^2}{x^2}dt$, und weil mit zuneh-

mender Höhe die Geschwindigkeit abnimmt, oder die um ein Differential der Zeit wachsende Geschwindigkeit einem abnehmenden Differentiale des Raumes zugehört, also $v = -\frac{dx}{dt}$ seyn mufs, so ist $v\,dv = -2g\frac{r^2dx}{x^2}$. Nach einer leichten Integration, da $\frac{dx}{x^2} = -\frac{1}{x}$ ist, wird hieraus $v^2 = 4gr^2\frac{1}{x} +$ Const. Um die Constante zu finden, darf man nur annehmen, dafs die Geschwindigkeit $v = c$ war in einer Entfernung vom Mittelpuncte der Erde $x = a$, wonach dann $c^2 = 4gr^2\frac{1}{a}$, und das vollständige Integral $v^2 - c^2 = 4gr^2\left(\frac{1}{x} - \frac{1}{a}\right)$ ist. Heifst also für den Halbmesser der Erde, als Kugel angenommen, $= r$ (§. 219), die Entfernung vom Mittelpuncte bis zur Oberfläche $= x$, die Entfernung des fallenden Körpers vom Mittelpuncte der Erde $= a$, so ist

$$v = \pm\sqrt{\left(c^2 + \frac{4gr(a-x)}{ax}\right)}$$

und wenn er aus der Ruhe zu fallen anfing, also $c = 0$ war

$$v = \pm\sqrt{4gr^2\left(\frac{a-x}{ax}\right)}$$

diejenige Geschwindigkeit, mit welcher er auf der Oberfläche der Erde ankommt. Die Zeit, welche er hierzu gebraucht, kann nicht auf gleiche Weise leicht gefunden werden, weswegen ich nur das Resultat hersetze, nämlich

$$t = \frac{1}{2r}\sqrt{\frac{a}{g}}\left(\sqrt{(ar - r^2)} + \tfrac{1}{2}a\,\text{Arc.}\cos.\frac{2r-a}{a}\right).$$

Man hat gefragt, wie ein Körper fallen würde, wenn er von der Oberfläche der Erde bis in ihren Mittelpunct fiele. Obgleich diese Aufgabe physikalisch nicht wohl statthaft ist, so läfst sich doch nach den bisherigen Betrachtungen Folgendes darüber sagen. Es mufs hierbei vorzüglich berücksichtigt werden, dafs die Schwere im Mittelpuncte der Erde $= 0$ ist, folglich mit abnehmender Stärke auf den fallenden Körper wirkt. Es sey zu diesem Ende EC der
Fig. 7.] Halbmesser der Erde $= r$; die Entfernung $C\alpha$ vom Mittelpuncte $= x$; die Geschwindigkeit eines von der Erdoberfläche bis α herabgefallenen Körpers $= v$; die Zeit

dieses Fallens $= t$; der Fallraum in E für eine Secunde $= g$; der Fallraum in α für eine Secunde $= f$, so ist

$CE : C\alpha = 1 : f$ und $rf = x$; also $f = \frac{x}{r}$

weil die Anziehung vom Mittelpuncte der Erde an bis zu ihrer Oberfläche der Entfernung vom Centro oder dem wachsenden Halbmesser direct proportional ist (§. 29). Es ist dann auf gleiche Weise wie oben $dv = 2g\frac{x}{r}dt$, und da auch hier $v = -\frac{dx}{dt}$ ist, so ergiebt sich mit diesen Gröfsen auf beiden Seiten multiplicirt, $vdv = -\frac{2gxdx}{r}$. Hiervon das Integral giebt $v^2 = -\frac{2gx^2}{r} + \text{Const.}$ Setzt man für $v = 0$ die Gröfse $x = r$, wie gleich anfangs angenommen wurde, so ist $\text{Const.} = \frac{2gr^2}{r}$ und das vollständige Integral $v^2 = 2g\left(\frac{r^2 - x^2}{r}\right)$ oder $v = \pm\sqrt{2g\left(\frac{r^2 - x^2}{r}\right)}$. Heifst dann die Linie $\alpha\, 45^\circ = p$; die Linie $CB = q$, so ist $v = 2g\frac{p}{q}$, d. h. die Geschwindigkeit eines von der Oberfläche nach dem Centrum fallenden Körpers, welche er in irgend einem Puncte im Innern erlangt hat, verhält sich wie das Perpendikel auf diesen Punct. Kommt der Körper im Centro an, so ist seine Geschwindigkeit $v = \sqrt{2gr}$, also $2g = 30$ F. und $r = 19609050$ F. gesetzt, giebt 24254 F.

Für die Zeit hat man $vdt = -dx$, also $dt = -\frac{dx}{v}$ und den oben erhaltenen Werth für v substitutuirt,

$$dt = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{-dx}{\sqrt{(r^2 - x^2)}}$$

welches integrirt $t = \sqrt{\frac{r}{2g}}.\text{arc. cos.}\frac{x}{r}$ giebt. Die Zeit des Falles eines Körpers von E bis α verhält sich also wie der zugehörige Bogen E 45°. Rückt α bis C hinab, so wird $t = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{EB}{BC} = 1{,}5708\sqrt{\frac{r}{2g}}$. Hiernach beträgt für die angegebenen Gröfsen $t = 1270''$ oder 21 Min. 10 Sec.

als die Zeit des Fallens von der Oberfläche bis zum Centrum. Diese nämliche Zeit verwendet der fallende Körper auf jedem Raume, in welchem Puncte zwischen C und E er auch zu fallen anfangen mag. Ist nämlich diese Entfernung $= n$, so wird aus der obigen Gleichung für v:

$$v = \sqrt{\left(\frac{2g}{r}(n^2 - x^2)\right)}$$

$$\text{also } dt = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{dx}{\sqrt{(n^2 - x^2)}}$$

$$\text{mithin } t = \sqrt{\frac{r}{2g}} \text{ arc. cos. } \frac{x}{n}$$

$$\text{und für } x = o : t = \sqrt{\frac{r}{2g}} \text{ arc. cos. } o = 1{,}5708 \sqrt{\frac{r}{2g}}.$$

Indem endlich die erreichte Geschwindigkeit den Körper eben so hoch treibt, als er gefallen ist, so würde derselbe beim wirklichen Falle nach der Ankunft im Centro wieder bis zur entgegengesetzten Oberfläche steigen, dann abermals umkehren, und auf dem Falle durch die ganze Erde 42′ 20″, bis zur Rückkehr an seinen ersten Ort aber 1 Stunde, 24 Min., 40 Sec. gebrauchen [1].

§. 32.

Wenn ein Körper zum Theil unterstützt ist, und daher den Gesetzen des freien Falles nicht folgen kann, so werden die Fallräume für gleiche Zeiten geringer werden, wie wir dieses beim Falle auf der schiefen Ebene sehen.

Fig. 10. Wenn eine Kugel auf der schiefen Ebene CB herabfällt, deren Neigungswinkel $= \varphi$ ist, so ist cb die Richtungslinie ihres Falles. Sie zerfällt in die Richtungen ce und ca. Da erstere durch den unüberwindlichen Widerstand der Ebene $= o$ wird, so bleibt bloſs die leztere, als der Theil der Kraft, womit sie fällt. Es ist aber das Dreieck cba ähnlich dem Dreieck CBA, und es verhält sich daher der Fall auf der geneigten Ebene p′, zum freien Falle p, wie ca : cb = CA : CB, d. h. die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge. Es ist aber $CA : CB = \sin. \varphi$, folglich ist $p' = p. \sin. \varphi$.

---

[1]) Vergl. Brandes in Gehler phys. Wört. IV. S. 10 ff. Hutton Tracts. III. 334.

Folgerungen dieses Gesetzes sind:

1) Wenn eine Last auf einer geraden geneigten Ebene bewegt wird, so ist für den Zustand des Gleichgewichts die hierzu erforderliche Kraft $= Q$, die zu bewegende Last $= P$, den Neigungswinkel $= \varphi$ gesetzt, im Falle daſs die Richtung der Kraft der Oberfläche der Ebene parallel ist, $Q = P \sin. \varphi$, ist sie dagegen der Basis der Ebene parallel oder horizontal, so ist $Q = P \operatorname{tang}. \varphi$. Bei der Bewegung der Lasten auf einer horinzontalen Ebene wird das ganze Gewicht derselben durch die Ebene selbst getragen, mithin bleibt bloſs die Reibung zu überwinden; soll dieselbe aber bergan bewegt werden, so ist erforderlich, einen aliquoten Theil ihrer Last zu heben. Ist daher bei einem Frachtwagen z. B. die Ueberwindung der Reibung $= \frac{1}{15}$ der Last, wäre die Kraft der Pferde so abgemessen, daſs sie hierzu gerade hinreichte, und sollte dann derselbe auf einen Berg von 30° Neigung gezogen werden, wobei die hier noch weiter zu überwindende Last dem Sinus des Neigungswinkels proportional, also $= \frac{1}{2}$ ist, so würden hierzu noch eine Anzahl Pferde, im Verhältniſs von $\frac{1}{2} : \frac{1}{15}$ also 7,5 mal so viele erforderlich seyn, woraus schon folgt, daſs dieses in der Ausführung unmöglich wäre. Lieſse sich ferner annehmen, daſs die Kraft eines bergan ziehenden Pferdes der auf horizontaler Ebene ausgeübten gleich wäre, so ist für den Sinus $= \frac{1}{15}$ der Winkel $= 3° 50'$, und gröſser dürfte daher die Neigung nicht seyn, wenn man mit der doppelten Anzahl Pferde oder einer doppelten Anstrengung der angespannten ausreichen wollte.

Gewöhnlich schätzt man die Elevationen gröſser als sie wirklich sind, hat aber die verschiedenen Gröſsen derselben, in wiefern sie bestiegen oder befahren werden können, genauer auszumitteln gesucht [1]. Nach v. Humboldt [2] machen 5° eine starke Elevation für das Fuhrwesen, und in Frankreich sind bei den groſsen Straſsen nur 4° 46′ zulässig, welches auf 12 F. 1 F. Erhebung beträgt. Auf einer um 15° geneigten Ebene kann ohne Hemmung ein Wagen nicht hinabfahren, 37° sind für einen Fuſsgänger zu steil, wenn der Boden Eis, Felsen oder kurzer Rasen ist, wo man keine Staffeln eingraben

[1]) G. W. Leonhardi Vorlesungen über d. Anfangsgründe d. Mathem. Bd. IV.

[2]) Reisen d. Ueb. I. 224.

kann, denn der Mensch fällt rückwärts, wenn sein Fufs mit dem Schienbeine einen kleineren Winkel macht als $90^\circ - 37^\circ = 53^\circ$. Dagegen kann eine Ebene von 42° Neigung noch erstiegen werden, wenn man mit dem Fufse Staffeln einzugraben vermag. Die mittlere Neigung der fast unersteiglichen vulcanischen Kegel ist 33° bis 40°, einige steilste Parthieen sind von 40° bis 42°. Läfst sich annehmen, dafs die Reibung beim Schleifen der Körper $\frac{1}{3}$ der Last beträgt, so würden auf einer Ebene von $19^\circ\ 28'$ Neigung Lasten gerade herabgleiten, weil sin. $19^\circ\ 28' = 0{,}333258$, also sehr nahe $\frac{1}{3}$ ist. Zur Versinnlichung der Sache dient eine geneigte Ebene, worauf man Klötzchen oder kleine Wagen herabgleiten läfst.

Der bergan laufende Kegel ist als eine Zusammensetzung von zwei stark geneigten Ebenen zu betrachten, welche von der Mitte nach den Enden hin sich erstrecken, und er wird daher scheinbar auf einer geneigten Ebene hinaufrollen, wenn diese weniger geneigt ist, als diejenigen sind, welche ihn selbst bilden, so dafs bei der Compensirung ein Ueberschufs bleibt [1]).

2) Die Endgeschwindigkeit $v' = v$ sin. φ, d. h. der Körper hat am Ende seines Falles von der geneigten Ebene eine Geschwindigkeit, als wenn er die Höhe derselben herabgefallen wäre. Beim Fliefsen des Wassers in Flufsbetten trifft dieses nicht zu, weil die Krümmungen die erhaltene Geschwindigkeit stets wieder aufheben.

3) Wenn AD auf CB normal ist, so ist CD : CA = CA : CB, und es wird daher ein Körper in derselben Zeit den Raum CD durchlaufen, in welcher er von C nach A herabfällt.

§. 33.

Die geneigte Ebene ist eine sehr wichtige mechanische Potenz, welche nebst dem Hebel dem gesammten Maschinenwesen zum Grunde liegt, und daher in zahlreichen Anwendungen vorkommt. Hauptsächlich ist dieses der Fall beim Keile, bei der Schraube und beim Pendel.

Die geneigte Ebene kommt zunächst und unmittelbar beim Maschinenwesen in Anwendung beim Keile, welcher als

---

[1]) S. Kraft in Nov. Comm. Pet. VI. 389. Kononoff in Nov. act. Pet. VII. 229.

zwei mit ihren Grundflächen sich berührende geneigte Ebenen anzusehen ist. Nach der mitgetheilten Theorie wird also der Keil als geneigte Ebene sich mit so viel geringerer Kraft unter die Last bewegen lassen, je geringer seine Höhe im Verhältniss zu seiner Länge ist. Heisst daher die Länge desselben $= l$, der Winkel beider Flächen $= 2\varphi$, die bewegende Kraft $= k$, die Wirkung q, so ist $k : q = \frac{2 \tan g. \varphi}{l} : 1$.

also $q = \frac{k\,l}{2 \tan g. \varphi}$. Die Theorie der Keile kann anschaulich gemacht werden durch Langsdorf's Gomphometer, zwei Bretter, welche mit einem zwischen ihnen liegenden, durch eine angemessene Kraft herabgezogenen Keile ins Gleichgewicht gebracht werden [1]). Der mechanische Effect des Keiles wird durch die starke Reibung desselben sehr vermindert. Nach den Gesetzen des Keiles wirken die Messer, Beile, Säbel u. s. w.

Die Schraube ist als eine geneigte Ebene anzusehen, welche um eine Walze gelegt ist, und es verhält sich die bewegende Kraft zur Wirkung, wie die Höhe einer Windung zum Umfange der Schraubenspindel. Die feinsten Schrauben sind daher die wirksamsten, wenn das Metall noch hält. Feine Mikrometerschrauben mit 144 Windungen auf 1 par. Zoll verfertigt Repsold in Hamburg, Fraunhofer hat noch feinere geliefert.

§. 34.

Auch das Pendel, welches zunächst als ein um einen festen Punct geschwungener Körper zu betrachten ist, kann bei der geneigten Ebene zur Untersuchung kommen; wenn man dasselbe als einen auf einer geneigten Ebene herabfallenden schweren Körper betrachtet.

Aus der oben §. 32 in Nro. 3 abgeleiteten Folgerung Fig. 11.] geht hervor, dass jeder Körper in der nämlichen Zeit die Chorde DC durchläuft, in welcher er von AC herabfällt. Es wird aber die Chorde DC dem Bogen so viel näher kommen, je kleiner beide sind, und ein Körper, welcher

---

[1]) Handbuch der gemeinen und höheren Mechanik fester und flüssiger Körper. Von K. C. Langsdorf. Heidelberg 1807. 8. pag. 213.

an einem Faden cD aufgehangen ist, oder ein Pendel, kann daher die Chorde DC durchlaufend betrachtet werden. Ist cC die Länge des Pendels $= L$; die Zeit, in welcher die halbe Schwingung DC vollendet wird $= t$, so ist $t^2 g = 2\,L$, oder $t = \sqrt{\frac{2\,L}{g}}$, also für die einfache Schwingung DC + CE ist $t = 2\sqrt{\frac{2\,L}{g}}$.

Soll dieses allgemeine Gesetz auf das physische Pendel angewandt werden, so ist dabei zu berücksichtigen:

1) die Länge des Pendels, welche, für einen schweren Körper an einem nicht schweren Faden angenommen, nach dem Gewichte der Stange und des aufgehangenen schweren Fig. 12] Körpers verschieden seyn muſs. Ist das Gewicht der Stange $= P$, des anhängenden Gewichtes, dessen Schwerpunkt in c ist $= p$, das Verhältniſs von $Ac : AB = v : w$, so ist die corrigirte Länge $l' = \dfrac{\frac{1}{3}\lambda^2 P + \frac{v^2}{w^2}\lambda^2 p}{\frac{1}{2}\lambda P + \frac{v}{w}\lambda p}$, d. h. man dividire das Trägheitsmoment des Pendels durch sein statisches Moment. Hier ist die ganze Schwere in c vereinigt gedacht. Wird auf die Form des angehängten schweren Körpers Rücksicht genommen, so ist das zweite Glied des Zählers bei einer kreisförmigen flachen Scheibe vom Halbmesser $= r = \left(\frac{v^2}{w^2}\lambda^2 + \frac{1}{4}r^2\right)p$ für eine Kugel $= \left(\frac{v^2}{w^2}\lambda + \frac{2}{5}r^2\right)p$ und für eine Linse, wenn wir den Halbmesser der Dicke $= r'$ setzen, welche also aus der Form einer Scheibe um so mehr in die Form einer Kugel übergeht, je mehr $\frac{r'}{r}$ sich der Einheit nähert, $\left(\frac{v^2}{w^2}\lambda^2 + \frac{r^2}{20}\left(8 - 3\frac{r'}{r}\right)\right)p$.

2) Da der Körper des Pendels nicht auf der Chorde bewegt wird, sondern im Bogen, so wird er sich so viel langsamer bewegen, je gröſser die Schwingungsbögen sind. Heiſst der Elongationswinkel $= \alpha$, so ist für den halben Schwung $t = \frac{1}{4}\pi\left(1 + (\frac{1}{2})^2\,\frac{\text{sin. v. }\alpha}{2\,L} + \left(\frac{1\cdot 3}{2\cdot 4}\right)^2\right.$

$\left(\frac{\sin. v. \alpha}{2L}\right)^2 + \ldots\Big) \sqrt{\frac{2L}{g}}$, woraus man sieht, daſs bei der Kleinheit der folgenden Glieder für kleine Bögen $t = \frac{1}{4} \pi \sqrt{\frac{2L}{g}}$, also für den einfachen Schwung $t = \frac{1}{2} \pi \sqrt{\frac{2L}{g}}$ gesetzt werden könne.

Huyghens, der Erfinder des Uhr-Pendels um das Jahr 1656, wollte es nicht im Kreise, sondern in der Cykloide schwingen lassen, weil die Cykloide die merkwürdige Eigenschaft hat, daſs ein in derselben herabfallender Körper willkührlich groſse Bögen in gleichen Zeiten durchläuft, weswegen sie auch Tautochrone genannt wird [1]. Vorschläge dieser Art sind später wiederholt, allein ihre Ausführbarkeit ist zu schwierig, und eine scharfe Berechnung zur Reduction des Bogens auf die Chorde giebt genauere Resultate. Bei astronomischen Uhren ist es vielmehr vortheilhaft, wenn die Schwingungsbögen der Pendel nicht zu klein sind, weil sie dann geringere Störungen erleiden. Der durch die Gröſse dieser Schwingungsbögen entstehende Fehler ist übrigens ein constanter, welcher durch Verkürzung des Pendels compensirt, keinen weiteren Einfluſs hat. Bei den Messungen der Pendelschwingungen zur Bestimmung der Gestalt der Erde muſs die veränderliche Gröſse der Schwingungsbögen in Rechnung genommen werden.

3) Wegen der nach dem Pole hin zunehmenden Schwere (§. 29) muſs die Länge des Secunden-Pendels vermehrt werden, und zwar um eine der zunehmenden Schwere proportionale Gröſse, damit das Verhältniſs $\sqrt{\frac{2L}{g}}$ stets gleich bleibe; mithin muſs die corrigirte Länge $L' = L$ $(1 + 0{,}0067195 \sin^2 \text{lat.})$ seyn. Weil aber diese Gröſse durch ein bestimmtes Axenverhältniſs gegeben ist, welches nicht aus allen Beobachtungen übereinstimmend gefunden wird, so stimmt dieselbe mit directen Beobachtungen des Pendels nicht durchaus überein. Eine Menge der genauesten Beobachtungen geben die Länge des Secunden-Pendels für mittlere Sonnenzeit unter dem Aequator = 439,2066 Linien, und unter dem Pole = 441,5928 Linien. Nach Theorie und Erfahrung ist die Vermehrung

[1]) C. Hugenii horol. oscill. Par. 1763. Vergl. van Swinden in Verhand. van het K. Ned. Instit. cet. te Amst. 1817.

dem Quadrate des Sinus der Breite proportional, also die corrigirte Länge in Linien $L' = 439{,}2066 + 2{,}3862 \sin.^2 \text{lat.}$ Setzt man $\sin.^2 \text{lat.} = \frac{1 - \cos. 2 \text{ lat.}}{2}$, so erhält man $L' = 440{,}3998 - 1{,}1932 \cos. 2 \text{ lat.}$, und für den 45sten Grad $L' = 440{,}3998$ Linien.

Will man bei der einmal angenommenen Normallänge Pendel für verschiedene Zeiten finden, so zeigt die Formel $t : t' = \sqrt{L} : \sqrt{L'}$, daſs die Zeiten den Quadratwurzeln der Längen proportional sind. Soll daher die Länge eines Pendels, welches n Schwingungen in einer gegebenen Zeit macht, auf ein anderes reducirt werden, welches m Schwingungen macht, z. B. wenn man die eigentliche Länge des Secunden-Pendels aus der genau bestimmten Länge eines Pendels zu bestimmen wünscht, dessen Schwingungen gezählt sind, so ist $L' = L \frac{m^2}{n^2}$. Anwendungen geben Uhrpendel und der musikalische Tactmesser, oder Mälzel's Metronom. Dieses zur genauen Bestimmung der Dauer eines Tactes in den verschiedenen Tonstücken sehr nützliche Werkzeug besteht aus einem hölzernen Pendel, welches in einem etwas über einen Schuh hohen Kästchen durch ein kleines Gewicht einige Minuten schwingend erhalten wird. Die hölzerne Pendelstange trägt unten eine Linse, über dem Aufhängungspuncte aber ist dieselbe verlängert und mit einem verschiebbaren Gewichte versehen. Hiernach werden die Schwingungen so viel langsamer, je höher man dieses schiebt, und die auf der verlängerten Pendelstange geschriebenen Zahlen geben dann die Menge der Schwingungen an, welche das Pendel in einer Minute macht, wenn man das Gewicht bis an dieselbe schiebt, also die Zeitdauer des Tactes [1]).

Aus den Pendellängen findet man am leichtesten die Fallräume, und überzeugt sich, daſs diese dem Quadrate der Zeit proportional sind. Nach der Formel ist nämlich $g = \frac{1}{2} L \frac{\pi^2}{t^2}$ und für 1 Secunde $g = \frac{1}{2} L \pi^2$, wonach der freie Fall in einer Secunde unter dem Aequator $= 15{,}05131$ Par. Fuſs; unter dem Pole $= 15{,}13314$ Par. F.;

---

1) S. Leipz. musik. Zeit. 1813. 27 u. 48, 1814. 27 u. 41, 1815. 5. Allgem. Anz. d. D. 1814. 77 u. 101.

unter einer beliebigen Breite $g = 15{,}05131 + 0{,}08183 \sin.^2 \text{lat.}$ Par. F. ist. Setzen wir $\sin.^2 \text{lat.} = \frac{1 - \cos. 2 \text{ lat.}}{2}$, so erhalten wir $g = 15{,}092225 - 0{,}040915 \cos. 2 \text{ lat.}$, wodurch zugleich die Fallhöhe bei $45^0 = 15{,}093224$ gefunden wird. Nehmen wir diese als Norm an, und nennen sie g; g' aber die corrigirte Gröfse, so ist $g' = g\,(1 - 0{,}002711 \cos. 2 \text{ lat.})$. Indem aber die Vermehrung der Fallhöhe in der ersten Secunde unter dem Pole hiernach nur 0,08 Fufs beträgt, so konnte dieser Unterschied durch unmittelbare Beobachtungen fallender Körper nicht aufgefunden werden [1]).

4) Die Schwere nimmt mit der Entfernung über die Oberfläche der Erde ab, und das Pendel mufs daher hierfür corrigirt werden.

5) Alle die genannten Gesetze der Pendelschwingungen sind für den freien Fall der Körper oder ihre Bewegung in einem nicht Widerstand leistenden Mittel aufgestellt. Es wird daher eine kleine Correction für den Widerstand der Luft erfordert, worin das physische Pendel schwingt. Bei kleinen Bögen und einem specifisch sehr schweren Körper ist sie unbedeutend, und wird ohnehin durch die linsenförmige Gestalt des Pendels fast ganz überflüssig. Sonst müssen die gefundenen Pendellängen oder Fallhöhen für den Widerstand und das spec. Gewicht der Luft corrigirt werden, und dieses kann namentlich bei Pendelmessungen zur Bestimmung der Gestalt der Erde nicht vernachlässigt werden.

6) Wenn man gleich die Schneide, worauf ein feines Pendel zur Vermeidung der Reibung sich bewegen mufs, möglichst fein macht, so hat sie doch eine gewisse Dicke, und das Pendel bewegt sich auf der Berührungslinie des Cylinders, wovon die Schneide einen Theil ausmacht. Dieses erfordert eine sehr geringe Verkürzung [2]).

7) Wollte man auch die kleinsten Umstände berücksichtigen, so kommt noch in Betrachtung, dafs der Stahl

---

[1]) Die hier gegebene Bestimmung stimmt mit anderen so genau überein, dafs ich sie vorläufig beibehalte, obgleich die Berechnung der neuesten Pendelmessungen wohl eine unbedeutende Abänderung herbeiführen kann. Bei den französischen Geometern wird meistens $g' = g\,(1 - 0{,}0027601 \cos. 2 \text{ lat.}$ gesetzt. S. Conn. de tems. l'An 1816. p. 332.

[2]) S. Laplace in Ann. de Chim. et de Phys. II. 92 Gilb. Ann. LVII. 225. Vergl. Th. Young in Phil. Trans. 1818. p. 95.

der Messerschneiden, worauf das Pendel schwingt, elastisch ist, und daher durch das Gewicht des Pendels zusammengedrückt wird. Eine Berechnung, welche Young [1]) hierüber anstellt, zeigt aber, daſs diese Correction verschwindend klein ist. Bei den Pendeln astronomischer Uhren ergiebt übrigens die Erfahrung, daſs es besser ist, sie an einem Stücke einer Uhrfeder aufzuhängen, als sie auf der Messerschneide ruhen zu lassen.

8) Alle Substanzen, welche man zu Pendelstangen nehmen kann, unterliegen einer Veränderung ihrer Länge; die metallenen am meisten durch den Einfluſs der Temperatur. Man bedient sich daher der rostförmigen Pendel, welche Harrison 1728 erfunden, Graham und Romains 1741 ausgeführt haben. Man hat seitdem verschiedene Vorschläge zu Compensationen gemacht, deren meiste darauf beruhen, daſs man Stangen von Zink und Stahl mit einander verbindet, wobei die stärkere aufwärts gehende Ausdehnung des Zinkes die geringere, aber durch mehrere Stangen erzeugte, abwärts gehende des Eisens wieder ersetzt. Martin in Paris compensirt durch zwei Bleche, wie die Unruhen in den Chronometern haben; Troughton erhält die Compensation durch Quecksilber, wie schon Graham gethan hatte, und diese scheint nach neueren Versuchen unter die besten zu gehören [2]). Da die Compensationspendel allezeit theuer sind, so kann man für Uhren sehr gut hölzerne und stark gefirniſste Pendelstangen anwenden, wenn es auf absolute Genauigkeit nicht ankommt [3]). Daſs sie nicht absolute Genauigkeit geben, beweisen die Versuche von Freycinet [4]). Diejenigen Pendel, deren man sich jezt fast allgemein zu Pendelversuchen in der Absicht bedient, um die Gestalt der Erde aus der Abnahme der Schwere zu bestimmen, sind die von Kater [5]) construirten sogenannten Reversionspendel, wozu v. Bohnenberger [6]) die erste Idee angegeben hat.

---

1) S. Phil. Trans. 1818. p. 99.

2) Vergl. Astron. Jahrb. 1810. Voigt Mag. IV. 693. Gilbert Ann. XXV. 36.

3) S. Beaufoy in Ann. of Phil. 1820. N. 87. p. 176. Vergl. Th. Squire u F. Baily in Phil. Mag. LXV. p. 40.

4) S. Voyage autour du Monde cet. Observations du Pendule. Par. 1826. 4.

5) S. Phil. Trans. 1818. p. 33.

6) Astron. p. 418.

Die Pendel dienen zuerst als genaues Maſs der Zeit, insofern ihre Schwingungen ohne eine sie treffende Veränderung stets in gleichen Zeiten geschehen müssen. Uhren sind diesemnach bloſs Maschinen, welche die Pendelschwingungen zählen. Zweitens dienen sie vorzüglich zur Bestimmung der Gestalt unserer Erde, indem die Pendellängen der Schwere direct proportional sind, leztere aber durch die Gestalt der Erde (s. §. 29) bedingt wird. Vermittelst der Pendel endlich hat Newton aufgefunden, daſs alle Materie gleich schwer sey. Newton verfertigte sich nämlich Pendel, welche statt der Linse Cylinder hatten, füllte die lezteren mit den verschiedensten Substanzen so, daſs bei allen die übrigen Bedingungen sämmtlich gleich waren, und fand, daſs diese insgesammt isochronisch schwangen, aus welchen Versuchen der aufgestellte Satz so lange folgt, bis andere Versuche das Gegentheil beweisen [1].

§. 35.

Bei allen diesen Untersuchungen wird die ganze Schwere der Körper in einem Puncte vereinigt angesehen. Man nennt diesen Punct den Schwerpunct, und dieser muſs zugleich durch seine Bewegung beim freien Falle eine Linie beschreiben, welche man die Falllinie nennt, deren Richtung durch die Schwere gegeben ist, und welche erst bekannt seyn muſs, wenn die Unterstützung des Körpers bestimmt werden soll. Ein Körper wird nämlich dann nicht fallen können, wenn seine Falllinie auf einer unbeweglichen horizontalen Ebene ruhet.

Der Schwerpunct eines Körpers ist derjenige Punct, um welchen die einzelnen schweren Theile in gleichen Entfernungen vertheilt sind. Bei einigen Körpern ist es sehr leicht, den Schwerpunct zu finden, z. B. bei einem Parallelopipedon, einer runden oder vierseitigen Scheibe. Bei einer Kugel liegt er im Centro, und sie muſs daher auf jeder horizontalen Ebene ruhen. Im Allgemeinen ist die Auf

1) Newton Princ. III. prop. VI. theor. 6. Bohnenberger Astron. p. 417. G. G. Schmidt Mathem. II. 312 ff. Langsdorf Mechanik. S. 274. Kästner höhere Mechan. S. 304 ff. La Place Mechan. d. Himmels, übers. von Burckhardt. II. 178.

findung des Schwerpunctes der verschieden gestalteten Körper nur durch Hülfe der höheren Analysis möglich, und die Schwierigkeit nimmt zu, wenn der Körper aus heterogener Materie von verschiedenem specifischen Gewichte zusammengesetzt ist [1]). Bei vielen Körpern fällt der Schwerpunct nicht in ihre Masse, z. B. beim Eimer, Ringe, Triangel u. s. w. Praktisch kann man die Lage des Schwerpunctes vieler Körper dadurch bestimmen, wenn man sie auf einer schweren Flüssigkeit schwimmen läfst, indem dann die lothrechte Linie ihres Falles durch ihren Schwerpunct geht.

Die Lehre vom Schwerpuncte kommt vorzüglich in Betrachtung bei allen Bewegungen der Körper, weil diese in derjenigen Bahn geschehend angenommen wird, welche ihre Schwerpuncte beschreiben. Ein Körper ruhet, so lange seine Falllinie unterstützt ist, und er kann nur dann fallen, wenn diese über den Unterstützungspunct hinausgerückt wird. Ist der Körper bei einer geringen Neigung dieser Linie in rotirender Bewegung, so beschreibt sein Schwerpunct um dieselbe einen Kreis, und er wird nicht fallen, so lange diese Bewegung schnell genug ist, um den sinkenden Schwerpunct zeitig genug an eine andere Stelle zu rücken.

Ein Körper ruhet um so sicherer, je gröfser die ihn tragende Ebene, und je weiter sein Schwerpunct von der Grenze derselben entfernt ist. Menschen und Thiere stehen so viel fester, je gröfser das Trapezium ist, welches sie unterstützt, wobei sie, durch das Gefühl geleitet, in der Ruhe ihren Schwerpunct so legen, dafs die Falllinie zwischen die verschiedenen Unterstützungspuncte mit einer ihrer Stärke proportionalen Vertheilung der Entfernungen auf die tragende Fläche gerichtet ist. Bei der Bewegung wird der Schwerpunct über einen Unterstützungspunct hinausgerückt und aufs Neue unterstützt. Auf einer grofsen Fertigkeit hierin beruhen die Kunststücke der Seiltänzer und Aequilibristen.

Ist die Unterstützung blofs ein Punct, so wird der Schwerpunct leicht über denselben hinausgerückt werden; auch zwei Puncte geben blofs eine unterstützte Linie (Balanciren leichter und schwerer, hoher und niedriger Körper, Balancirstangen.) Drei Unterstützungspuncte fallen in jede Ebene, unterstützen aber nicht am vollständigsten

---

1) Am vollständigsten ist Prony neue Architectura hydraulica, übers. von Langsdorf. I. S. 89 ff.

Vierräderige Wagen sind nicht in vier, sondern in zweimal drei Puncten unterstützt, um in jeder Ebene bewegt werden zu können. Ein Körper mufs fallen, wenn sein Schwerpunct über die Unterstützungsebene hinausgerückt ist. (Fallen beim Gehen und Laufen, Chinesische Puppe, Bondoni's berganlaufender Cylinder [1]), oscillirende Waagebalken, Hodometer oder Perambulator [2]), Lampe des Cardanus, Quecksilberuhr u. s. w.)

Flüssigkeiten können ihrer Natur nach keinen Schwerpunct haben. Wird bei einzelnen Massen derselben einer angenommen, so betrachtet man diese als fest.

§. 36.

Ist ein beweglicher fester Körper in irgend einem Puncte so ruhend oder befestigt, dafs seine Theile sich um denselben bewegen können, so geschieht diese Bewegung nach den Gesetzen des Hebels, bei welchem sich der Unterstützungspunct (Hypomochlion) die Hebelarme und die bewegten Lasten unterscheiden lassen. Das allgemeine Gesetz des Hebels für den Zustand des Gleichgewichts ist, dafs die Lasten sich umgekehrt verhalten, wie die Längen der Hebelarme, oder dafs $Pl = pL$ ist, oder $P : p = L : l$.

Die Erscheinungen und Gesetze des Hebels kommen bei jedem Körper in Betrachtung, welcher in einem Puncte so befestigt ist, dafs er um diesen nach irgend einer Richtung gedrehet werden kann. Zur einfacheren und leichteren Construction nimmt man zuerst den mathematischen Hebel. Einen mathematischen Hebel nennt man eine unbiegsame Linie, welche um einen Punct durch gewisse auf ein oder beide Enden derselben wirkende Kräfte beweglich ist. Man unterscheidet den einarmigen und den doppelarmigen Hebel, und nennt diesen auch Hebel der ersten, jenen, Hebel der zweiten Art, oder man unterscheidet den Hebel der ersten Art (Fig. 13), den Hebel der zweiten Art (Fig. 14) und den Hebel der dritten Art (Fig. 15), deren Construction keine weitere Erklärung bedarf, ohne in der

[1]) S. Phil. Trans. XII. 1006. Kästner deutsche Schriften der Gött. Soc. Bd. I.

[2]) S. Lichtenberg verm. Schriften. VI. 161.

Anwendung diesen Unterschied immer streng beobachten zu können.

Der Beweis des allgemeinen Gesetzes für den Hebel ist vielfach versucht, z. B. von Archimedes [1]), Cartesius [2]), Varignon [3]) u. a., am genügendsten von Kästner [4]).
Fig. 16.] Am leichtesten begreift man dasselbe, wenn man die im Gleichgewichte befindlichen, in gleichen Entfernungen vertheilten Kräfte α, β, γ und a, b, c, d, e in die Summen s und S vereinigt. Dasselbe ist übrigens weiter nichts, als eine specielle Anwendung der Bestimmungen des statischen und mechanischen Momentes der Kräfte (§. 22.).

Archimedes betrachtet den Satz als ein Axiom, daſs gleiche Gewichte an gleich langen Hebelarmen einander das Gleichgewicht halten oder den Zustand der Ruhe erzeugen müssen, weil an keiner Seite ein Grund zur Bewegung vorhanden ist. Cartesius suchte einen allgemeinen Beweis
Fig. 17.] in dem Principe der Geschwindigkeiten. Weil nämlich die in gleichen Zeiten durchlaufenen Bögen aα, bβ die Geschwindigkeiten geben, zugleich aber in der Richtung einander entgegengesetzt sind, so muſs für die Gewichte P und p, die Geschwindigkeiten V und v der Zustand des Gleichgewichts hergestellt seyn, wenn $Pv = pV$ ist. Insofern aber die Winkel in c einander gleich sind, verhalten sich die Bögen wie die Längen der Hebelarme ac und bc, und eben so auch die Geschwindigkeiten, woraus $pL = Pl$ folgt. Sofern der Hebel nebst der geneigten Ebene die Grundlage der gesammten Maschinenlehre ausmachen, ist es begreiflich, daſs Cartesius und seine Anhänger auf diese Demonstration ein groſses Gewicht legten, auch ist der Satz schon an sich sehr fruchtbar, indem aus ihm folgt, daſs man die gröſste Last mit der kleinsten Kraft zu bewegen vermag, wenn das Verhältniſs der Geschwindigkeiten das Umgekehrte der Lasten ist.

Newton leitete vielmehr das Gesetz des Hebels aus dem Parallelogramm der Kräfte her, worin ihm Varignon, d'Alembert u. a. folgten, und welches auch gegenwärtig noch von den Schriftstellern geschieht, welche sich nicht bloſs auf die elementare Mechanik beschränken, Kästner dagegen hat mit groſser Kunst das Gesetz des Hebels be-

---

1) Opp. per J. Barrow I. prop. VI.

2) Tract. de mech. in opusc. posth.

3) Nouv. mecanique ou stat. Par. 1725.

4) Vectis et compos. vir. theoria evid. exp. Lips. 1753.

wiesen, und aus diesem den Beweis für das Parallelogramm Fig. 18] der Kräfte abgeleitet. Dafs der Hebel ab im Gleichgewichte sey, wenn P = P und ac = bc ist, nimmt er mit Archimedes als Axiom an. Wird dann statt des Hypomochlium bei c der Hebel durch ein Gewicht = P + P′ getragen, so mufs das Gleichgewicht bestehend bleiben, nachdem der Hebelarm bei b befestigt und P weggenommen ist Macht man demnächst bd = bc, beschwert d und c mit P + P′, so besteht das Gleichgewicht ferner, auch wenn die entgegenwirkenden gleichen Gewichte bei c weggenommen werden, in welchem Falle aber P + P′ × db = P′ × ab, d. h. Pl = pL ist. Durch Wiederholung dieser Operation läfst sich der Satz allgemein machen. Hieran wird demnächst die Construction des Winkelhebels geknüpft, und daraus dann das Parallelogramm der Kräfte gefolgert.

Dafs Roberval am Ende des vorlezten Jahrhunderts sein Problema staticum oder seine bekannte Waage als einen Gegenbeweis gegen das Gesetz des Hebels vorzeigte, ist bekannt [1]).

Wenn ein Hebelarm einen Winkel mit der Verlängerung der geraden Linie bildet, so ist er als die Diagonale zweier andern Linien anzusehen, und die statischen Momente der Fig. 19] Kräfte werden gleich seyn, wenn die corrigirte Länge l′ = l sin. v genommen wird. Eben dieses ist der Fall, wenn die Kräfte nicht lothrecht auf die Hebelarme wirken; Fig. 20.] das Gleichgewicht der statischen Momente erfordert dann, dafs L. sin. v p = l sin. w. p′ sey. Weil nun sin. v immer kleiner, und endlich dem Verschwinden nahe gebracht werden kann, so führt dieses auf diejenigen Fälle, wo eine ungeheuere Kraft eine kleine Last kaum oder gar nicht bewegen kann, z. B. wenn ein langes Seil gerade gespannt werden soll, welches durch sein eigenes oder ein daran hängendes Gewicht niedergezogen wird. Beim physischen Hebel mufs noch das Gewicht der Hebelarme berücksichtigt werden, welches man als im Schwerpuncte jedes Armes vereinigt in dem Abstande des Schwerpunctes vom Unterstützungspuncte annimmt. Heifsen die hierfür erhaltenen Längen und Gewichte λ; λ', π und π', so ist für den Zustand des Gleichgewichts $Pl + \lambda'\pi : pL + \lambda\pi'$.

---

[1]) S. Journ. des Savans. ed. Amst. 1670. p. 588. Erklärt wurde dasselbe in Mém. de l'Acad. X. 343. neuerdings durch Hofmann in: Roberval's Waage von Hofmann. 1816. 28 S. 4.

§. 37.

Die Gesetze des Hebels kommen bei dem gesammten Maschinenwesen in Anwendung, worin die Seilmaschine, der Hebel und die geneigte Ebene Fundamentalmaschinen sind. Am nächsten kommen dieselben in Betrachtung bei dem Hebebaume, der Rolle, dem Rade an der Welle, dem Flaschenzuge, der Waage, dem Rade mit Getriebe, dem Tetrade und der Tretscheibe, und aufser den eigentlichen Maschinen noch bei der Schere, der Sense, dem Spaten, dem Schubkarren, so wie endlich bei dem Gliederbaue lebender Wesen.

Fundamentalmaschinen nennt man diese, meistens aber nur den Hebel und die geneigte Ebene, weil aus ihnen fast alle gröfsere und complicirte zusammengesetzt sind [1]). Die Seilmaschine, wozu Francoeur die Rolle und den Flaschenzug rechnet, läfst sich füglich auf den Hebel zurückführen, obgleich Th. Young dieses bestreitet.

Die Heblade macht den Hebebaum nützlich, indem sie eine öftere Wiederholung seiner Wirkungen, und daher eine Summirung der geringen Höhen gestattet, auf welche jener die Last fördert. — Bei der Rolle ist die Richtung der Kraft wegen der Gleichheit der Radien gleichgültig. Man unterscheidet die bewegliche und die unbewegliche Rolle, welche leztere meistens gebraucht wird, um auf eine in die Höhe zu hebende Last die Kraft bequemer wirken zu lassen, indem man sie an einem über die Rolle geschlungenen Seile hinaufzieht. In diesem lezteren Falle ist die Kraft der Last gleich, und die Rolle bildet keine mechanische Potenz, wie denn überhaupt auch bei zusammengesetzten Seilmaschinen die unbeweglichen Rollen keine Vermehrung der Kraft zur Hebung der Last unmittelbar erzeugen. — Beim Rade an der Welle mufs die Dicke des Seiles, wenn es sich mehrmals übereinanderlegt, mit in Rechnung gebracht werden. — Flaschenzüge giebt es verschiedene Arten. Bei den gemeinen ist die Kraft gleich der Last dividirt durch die Zahl der Seile, weil sie unter alle Seile gleichmäfsig vertheilt ist. Man legt hierbei die Rollen auch nebeneinander, und am zweckmäfsigsten sind die durch Smeaton

---

[1]) S. Francoeur traité de mecanique p. 97.

angegebenen, namentlich derjenige, bei welchem die eine Flasche fünf, die andere vier Rollen zu je zwei unter einander normal enthält. Beim Potenzflaschenzuge ist die Kraft gleich der Last dividirt durch zwei auf der Potenz, welche der Zahl der beweglichen Rollen gleich ist.

Die Güte einer Waage erfordert, dafs sie richtig sey, welches durch Verwechselung der Gewichte aufgefunden werden kann, und empfindlich. Lezteres sind sie um so mehr, je näher der Unterstützungspunct dem Schwerpuncte liegt, je geringer das Gewicht des Waagebalkens und je länger seine Arme sind [1]). Die feinsten machte Ramsden [2]), seitdem Mendelssohn [3]), Geh. Rath Pistor in Berlin, Baumann in Stuttgart und mehrere andere Künstler. Eine Hauptregel zur Erhaltung einer gröfseren Feinheit beruht darauf, dafs der Waagebalken aus blofsen Stäben gemacht wird, und durch einen Kreis in der Mitte, nebst gehörigen Streben, die erforderliche Steifheit beim kleinsten Gewichte erhält, oder dafs man ihn aus zwei hohlen, mit ihren Grundflächen vereinigten abgestumpften Kegeln verfertigt. Einige Künstler, namentlich Pistor in Berlin, bringen am Ende des einen Armes eine Mikrometerschraube an, um die Länge desselben bis zum Aufhängepuncte der Waagschale zu corrigiren, und eine andere am entgegengesetzten Ende, um den Schwerpunct des Waagebalkens dem Unterstützungspuncte näher zu bringen.

Minder genau, aber zum Wägen gröfserer Lasten geeigneter sind die Schnellwaagen. Sie bestehen aus einem Hebel mit ungleich langen Armen, und sind entweder schwedische, wenn der Unterstützungspunct verschiebbar ist (eine unbequeme Einrichtung, welche leicht eine Beschädigung der scharfen Unterlage herbeiführt), oder römische, bei denen das Gewichtstück verschiebbar ist. Leztere haben meistens zwei verschiedene Unterstützungspuncte. Sehr zweckmäfsig sind die sogenannten Bascülen, bei denen das auf dem Boden liegende Waagebrett durch eine Verbindung mehrerer Hebel gehoben wird, welche so abgemessen sind, dafs 10 ℔ Last 1 ℔ Gewicht erfordern. Sie lassen sich auch für das Verhältnifs 100 zu 1 herstellen.

---

1) S. Schmidt Samml. phys. math. Abh. 1793. La Hire mec. 33. Euler com. Pet. X. 1. J. d. ph. XVII. 43. G. XXIX. 453 u. 442.

2) S. Young's lect. I. 125.

3) G XXIX. 153.

Zur Vorstellung von Rad und Getriebe denke man sich zwei Scheiben, welche sich mit ihren Oberflächen über einander hinwälzen. Indem hierbei gleiche Längen mit einander in Berührung kommen, so wird die Zahl ihrer Umwälzungen sich umgekehrt wie ihre Umfänge verhalten, und da diese den Halbmessern proportional sind, umgekehrt wie ihre Halbmesser. Dieses Verhältnifs wird dadurch nicht aufgehoben, dafs die Zähne der Räder und die Getriebe in einander greifen, vielmehr müssen von diesen beiden die Erhabenheiten der einen Scheibe genau die Vertiefungen der andern ausfüllen; und würden daher beiderseits die Erhabenheiten zur Hälfte weggenommen, so könnten sich die Scheiben wieder mit ihren Flächen über einander hinwälzen.

Ehemals hatte man meistens nur Sternräder (Stirnräder) und Kronräder, deren Zähne in die Vertiefungen der Triebstöcke, Trillinge oder Getriebe eingreifen, und diese sind auch noch jezt die gangbarsten, obgleich es noch andere Formen derselben giebt, z. B. solche, bei denen die Erhabenheiten schräg auf der einen Randseite ihres Umfanges liegen u. s. w. Die Berechnung bleibt auf allen Fall die nämliche. Durch Rad und Getriebe soll nämlich entweder eine Last durch eine grofse Kraft mit grofser Geschwindigkeit, oder eine grofse Last durch eine kleine Kraft mit geringer Geschwindigkeit bewegt werden. Allgemein mufs die Zahl der Getriebe in die Zähne dividirt, oder umgekehrt, eine ganze Zahl geben, weil bei der Construction kein halber Zahn übrig bleiben kann, und da die Menge der Zähne und Getriebe den Umfängen, diese aber den Halbmessern proportional sind, so darf nur den lezteren das erforderliche Verhältnifs gegeben werden. Will man z. B. die Geschwindigkeit um das Zehnfache vermehren oder vermindern, so gebe man dem Getriebe den Halbmesser = 1, dem Rade = 10, und schneide in jenes 5, in dieses 50 gleich grofse Vertiefungen. Es wird dann das Getriebe 10mal umlaufen, wenn das Rad einmal umläuft, und weil lezteres für seinen längeren Hebelarm die kleinere Kraft erfordert, so wird man mit 1 ℔ Kraft am Getriebe 10 ℔ Last am Rade bewegen können. Befindet sich an der Welle des Rades wieder ein Getriebe, welches in ein anderes Rad eingreift, so wird hierbei abermals jenes Verhältnifs eintreten, und allgemein kann man bei einem Systeme von Rädern und Getrieben sagen: es verhält sich die Kraft zur

Last wie $1 : \frac{R}{r} \times \frac{R'}{r'} \ldots \times \frac{R^n}{r^n}$. Das Verhältniſs der Geschwindigkeiten ist aber das umgekehrte.

Man setzt voraus, daſs Zähne und Getriebe genau in einander greifen, nicht schlottern, und also in unmittelbarer Berührung mit einander sind. Dieses am besten zu erreichen, giebt man den Zähnen die epicykloidische Form, und bei feinen Instrumenten erreichen geübte Künstler dieses in einem hohen Grade. Dürfte man annehmen, daſs dieses in ganzer Strenge der Fall sey, so müſste bei einer willkührlich groſsen Menge von verbundenen Rädern und Getrieben die kleinste Bewegung am einen Ende eine verhältniſsmäſsig kleinere am andern Ende erzeugen. Hohlfeld's Hodometer z. B. hat 6 Räder und eben so viele Getriebe, welche im Verhältniſs von 10 : 1 stehen, mithin verhalten sich die Geschwindigkeiten $= 10^6 : 1$, oder das erste Getriebe muſs eine Million Umläufe machen, wenn das lezte Rad eine einzige erhalten soll. Bewegte sich daher das erste in einer Secunde um 1 Linie, folglich durch einen noch recht gut sichtbaren Raum, so würde das lezte sich nur durch 0,000001 Lin. bewegen, welches selbst bei 10000facher Vergröſserung unsichtbar bliebe. Hieraus folgt also, daſs auf gleiche Weise, als es materielle Theile geben kann, welche selbst sowohl als auch ihre Formen unsichtbar sind, sich auch Bewegungen als wirklich vorhanden ergeben, deren Beobachtung unmöglich ist. Auf der andern Seite folgt hieraus, daſs man vermittelst des Räderwerks jede gegebene Last mit jeder gegebenen Kraft zu heben vermöge. Athenäus [1]) erzählt, Archimedes habe eine Maschine verfertigt, vermittelst deren Hiero ein Schiff mit einer Hand hob, und dem sich verwundernden Könige gesagt: Gieb mir einen Ort, wo ich mich hinstelle, so will ich die ganze Erde bewegen. Nach Beireis [2]) bestand dessen Maschine aus zwei Stirnrädern, einem Drillig und einer Kurbel, welche mit 1 ℔ Kraft 100 ℔ Last hob; er versprach mit 25 Rädern und 25 ℔ Gewicht die ganze Erde zu heben, die er zu einer Trillion ℔ annahm; allein dann hätte er unausgesetzt drehend 300000 Jahre bedurft, um die Erde $\frac{1}{60000}$ Zoll zu heben.

---

[1]) Deiprosoph. L. V. Vergl. C. Bossut's Geschichte d. Math., übers. von Reimer. Hamb. 1801. II T. S. 1. 154.

[2]) Aus dessen Hefte.

Der Gliederbau der Menschen und Thiere ist so eingerichtet, dafs mit Anwendung einer gröfseren Kraft eine kleinere Last mit gröfserer Geschwindigkeit bewegt wird, und umgekehrt, im Ganzen aber ist die Stärke der Muskeln ganz unglaublich grofs. Nach Borelli [1]) übt der Muskel des Arms eine Kraft von 1990 ℔ aus, wenn ein Mensch mit ausgestrecktem Arme 20 ℔ hebt; und trägt er 2 bis 3 Centn. mit gebogenen Knieen oder gebückt, so beträgt der Druck gegen die Knorpel und der Zug der Muskeln des Rückgrates 25585 ℔. Nach Desaguliers [2]) hob der Schotte Thomas Theophon einen Tisch von 6 Fufs Länge, an dessen Ende 50 ℔ hingen, mit den Zähnen, wozu mehrere Tausend ℔ Kraft gehörten [3]).

Interessante Resultate über die Kräfte der verschiedenen Völker hat man neuerdings vermittelst des Dynamometers erhalten, welcher von Regnier erfunden, von mir in etwas bequemerer Form construirt ist [4]). Nach Versuchen von Peron [5]) sind die Europäer, und unter diesen die englischen Matrosen die stärksten Menschen. Ueberhaupt ist der Zustand der Wildheit weder mit der längsten Lebensdauer, noch mit der gröfsten Körperstärke verbunden, sondern am zuträglichsten in dieser Hinsicht ist einfache und gerade genügende Nahrung. Ausgezeichnet schwach sind einige mongolische Stämme, namentlich die Buraeten [6]) und manche Neger [7]). Nur ausnahmsweise findet man auch starke Neger [8]). Zugleich zeigt sich bei den einzelnen Menschen ein grofser Unterschied hinsichtlich einer kurzdauernden Kraftäufserung und einer langen Ausdauer bei geringerer Anstrengung.

§. 38.

Um die Gesetze der Bewegung genau und scharf anzugeben, betrachtet man dieselben an sich und ohne

---

1) De motu animalium. Romae 1780. 4. und Joh. Bernoulli medit. de motu musculorum. L. B. 1710.
2) Course of exp. Phil. I. 290.
3) Vergl. Coulomb in Gilb. Ann. XL. 1.
4) S. Gilb. II. 91. Horner in Gehler's Wört. Th. II. Art. Dynamom.
5) Voyages I. 446—58.
6) S. Pallas Mongolische Völker. I. 171.
7) S. West über St. Croix. p. 18.
8) v. Humboldt Neuspanien. I. 103.

Rücksicht auf die aus der physischen Beschaffenheit der Körper entstehenden Hindernisse. Diese sind: Steifheit der Seile, welche nach der Beschaffenheit derselben verschieden ist, Friction oder Reibung, welche im Allgemeinen bei gleichem Drucke der Rauhheit der Körper proportional angenommen werden kann, und Widerstand der Mittel, welche wie ihre Dichtigkeit und das Quadrat der Geschwindigkeit des bewegten Körpers zunimmt.

Für die Steifheit der Seile ist die von Karsten aus den Amonton'schen Versuchen abgeleitete Formel, $S = \frac{0,187\,\delta}{r} Q$ völlig genügend, worin S die Steifheit der Seile, δ den Durchmesser des Seiles und r der Rolle, Q aber den das Seil spannenden Widerstand bedeutet [1]).

Ueber die Reibung haben unter andern Parent, de la Hire, Lambert und Euler sehr scharfsinnige theoretische Untersuchungen angestellt, und aufserdem haben vorzüglich Amontons, Desaguliers, Musschenbroek, Coulomb und Gerstner den Weg der Erfahrung versucht. Eine genaue Angabe des Reibungscoefficienten ist wegen der vielfachen Nebenbedingungen, oder weil wir kein allgemeines Mafs der Rauhheit haben, unmöglich. Dabei kommt aufserdem in Betrachtung, dafs die Reibung durch den Einflufs der Adhäsion vermehrt wird. Im Allgemeinen läfst sich die Sache auf folgende Hauptsätze zurückbringen:

1) Die Stärke der Adhäsion ist der Gröfse der Flächen und ihrer Glätte proportional, weil hierbei so viel mehr Puncte mit einander in Berührung kommen. Daher der grofse Widerstand beim Reiben des Glases. Flüssigkeiten leisten ohngeachtet der genauen Berührung nur geringen Widerstand wegen der leichten Trennung ihrer Theile.

2) Die Stärke der Reibung bei festen Körpern ist nach Amontons der Last, aber nicht der Fläche proportional, und wird durch die Rauhheit der reibenden Körper bestimmt, ohne dafs die Geschwindigkeit eine merkliche Aenderung hervorbringt. Sie steigt nach Gerstner bei

---

[1]) Karsten Lehrbeg. IV. 502. Langsdorf Handbuch d. Mechanik. p. 59. Eytelwein Handbuch der Statik fester Körper. II. 23.

mittelmäfsiger Politur nicht über $\frac{1}{3}$ der Last, und ist bei geschmierten Körpern

für Eisen auf Eisen	$\frac{1}{6}$	der Last.
— — Kupfer	$\frac{1}{7}$	
Holz auf Holz	$\frac{1}{8}$	

Weniger, als nöthig wäre, hat man bei diesen Untersuchungen bis jezt auf die Stärke des Druckes bei der Reibung verschiedener Körper Rücksicht genommen [1]).

Bei geringem Drucke wird der Reibungscoefficient am kleinsten werden, je härter bei vollendeter Politur die reibenden Körper sind.

Verwandelt sich die Bewegung aus einer schleifenden in eine zum Theil oder ganz wälzende, so wird die Reibung viel geringer. Ist die Bewegung zum Theil rollend, wie bei den Axen der Wagenräder, Frictionsrollen u. a., so mufs sie der Theorie nach im Verhältnisse des Halbmessers der Räder zu dem der Axen abnehmen. Bei einer absolut rollenden Bewegung auf Walzen und Kugeln müfste die Reibung unter dieser Bedingung ganz verschwinden, wenn man die über einander sich wälzenden Flächen als vollkommen eben und hart ansehen dürfte. Dieses ist indefs in der Natur nie der Fall, auch wird, namentlich bei grofsen Lasten, niemals ein solches Hinwälzen über einander statt finden, dafs im strengsten Sinne stets neue Puncte mit einander in Berührung kommen, vielmehr wird allezeit ein geringer Theil der Reibung zurückbleiben, und daher eine gröfsere Kraft zur Erzeugung der Bewegung erfordert werden, als welche die Berechnung angiebt. Hierzu kommt dann noch, aufser einer geringen, zur Ueberwindung der Adhäsion nöthigen Kraft, diejenige, welche erfordert wird, die Last auf die durch das Eindrücken der Körper entstehende geneigte Ebene hinaufzuheben.

Obgleich die Friction bei der Berechnung der Maschinen als ein Hindernifs erscheint, so hat sie doch im Allgemeinen einen sehr grofsen Nutzen. Um sie zu messen, dient Musschenbroek's Frictionsmesser, eine Walze, welche mit ihren Zapfen in Löcher von verschiedenen Substanzen gelegt, und durch ein darüber hängendes Seil mit ungleichen Gewichten beschwert wird, bis sie sich um ihre Axe drehet, und die Differenz der Gewichte im Verhältnifs zur Summe beider die Stärke der Friction angiebt.

---

[1]) S. Phil. Tr. 1785. p. 172. Bossut meç. §. 256.

Besser ist das Tribometer von Desaguliers. ein Schwungrad an einer Axe, welche durch eine Uhrfeder wiederholt nach einer Seite und rückwärts umgedrehet wird, während sie an demjenigen Körper schleift, dessen Reibung aus der geringeren oder gröfseren Zahl der Umdrehungen gemessen werden soll [1].

3) Der Widerstand flüssiger Mittel entsteht aus der Trägheit derselben; und da durch den bewegten Körper das Medium gleichfalls in Bewegung gesetzt wird, so mufs hiernach, abgesehen von der Form der bewegten Körper, der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit des bewegten Körpers, multiplicirt mit dem Dichtigkeitsverhältnisse des widerstehenden zum bewegten gleich seyn. Wären also die Massen mit Rücksicht auf ihre Dichtigkeit $= m'$ und m, die Geschwindigkeit c, so wäre der Widerstand $w = \frac{m}{m'} c^2$. Hierbei wird aber vorausgesetzt, dafs die wegbewegten Flüssigkeiten ungehindert ausweichen können, welches so viel weniger geschehen kann, je gröfser die Fläche oder der auf die Richtung der Bewegung senkrechte Querschnitt des bewegten Körpers ist. Indem aber angenommen werden kann, dafs die gestofsenen Theilchen von der Mitte nach beiden Seiten hin mit abnehmender Geschwindigkeit ausweichen, dafs ferner die Theile der Flüssigkeit dem bewegten Körper adhäriren, und dadurch ein Hindernifs der Bewegung erzeugen, imgleichen, dafs sie auch der Rückseite des bewegten Körpers adhäriren, und dadurch hinter demselben hergezogen werden, dafs aufserdem elastische Medien bei zunehmender Geschwindigkeit stärker comprimirt, und dadurch dichter und elastischer werden, so sieht man, dafs die mannigfaltigen, hierbei in Betrachtung kommenden, Bedingungen für einzelne Körper kein allgemeines Gesetz zulassen. Nach Hutton [2] ist für den Widerstand r einer eisernen Geschützkugel vom Durch-

[1]) Aufser den vielen älteren Schriften über diesen Gegenstand s. Prony arch. hyd. von Langsdorf. I. 469 ff. Rumford in Gilbert's Ann. XXXVIII. 331. Theorie des Fuhrwerks von Kroncke. Giefsen 1802. Metternich vom Widerstande der Reibung. Frankf. u. Mainz 1789. Coulomb über Reibung der Pivots. In Mem. de l'Acad. 1790. p. 448. Ximenes Teoria e Pratica delle Resistenze de' Solidi. Pisa 1782. Poppe pract. Abh. üb. d. Lehre von der Reibung. Gött. 1801. Poppe Encyclopädie des gesammten Maschinenwesens. Th. II. und die Werke über die Mechanik.

[2]) Course of math. III. 272.

messer = d, und eine Geschwindigkeit = v in avoir du poid Gewicht $r = \frac{d^2}{1000}\left(\frac{2v^2}{300} - v\right)$. Hiernach berechnet er die Höhe, welche eine solche bei einer Anfangs-Geschwindigkeit = c erreicht für Sexagesimal-Secunden, $h = 760\, d \log.\left(\frac{c^2 - 150c}{21090\, d} + 1\right)$, wonach eine Kugel von 1,05 ℔, wenn c = 2000 F. ist, nur 2920 F. steigt, statt daſs sie im vacuo sonst 11mal so hoch gehen würde. Setzt man das Gewicht der Kugel dem Widerstande gleich, also $0{,}5236\, d^3 = \frac{d^2}{1000}\left(\frac{2v^2}{300} - v\right)$, so läſst sich aus der quadratischen Gleichung die Endgeschwindigkeit = v finden. Sie ist für eine Kugel von 1 ℔ = 244 Fuſs, von 42 ℔ = 456 F. u. s. w. [1])

Das Wasser übt bei seiner ungleich gröſseren Dichtigkeit auch einen weit stärkeren Widerstand gegen die darin bewegten Körper aus, als die Luft, und man hat den lezteren vielfach untersucht, um die Kraft zu bestimmen, welche z. B. die Schiffe bedürfen, um ihn zu überwinden. Ein im Wasser fallender oder aufsteigender Körper erreicht ebendaher im ersten meſsbaren Zeittheilchen sogleich das Maximum seiner Geschwindigkeit, und bewegt sich dann mit gleichbleibender, wie schon Molinelli [2]) gezeigt hat. Aus dem Widerstande des Wassers und der Luft erklären sich das Ricochettiren der auf Wasser geschossenen Kugeln [3]), Schlagen auf Wasser, Ruder und Flügel der Vögel, Fallschirm, Wasserhammer. In einer langen Röhre mit Wasser fällt eine Bleikugel mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Der Fall des Ducaten und der Flaumfeder im vacuo. Verminderte Geschwindigkeit der Geschützkugeln, und viele andere Erscheinungen [4]).

---

1) Ausführlichere Untersuchungen über das ballistische Problem, mit Rücksicht auf den Widerstand der Luft, habe ich im Gehlerschen Wörterb. Neue Ausg. Th. I. Art. Ballistik, mitgetheilt.

2) Comm. Soc. Bonon. V. I. 280.

3) S. Carré in Mém. de l'Acad. 1704. p. 211.

4) Lambert in Mém. de Berl. 1765. p. 102. Bossut Hydrodynamik üb. v. Langsdorf II. 298 ff. Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano 1817. p. 221. Euleri Scientia navalis. Petrop. 1791. 4. I. p. 206. Wiebeking Wasserbaukunst II. Prechtl bei G. XXIII. 129. u. s. w.

B) Hydrostatik und Hydraulik.

§. 39.

Alle tropfbaren Flüssigkeiten müssen nach dem Gesetze der Schwere im Zustande der Ruhe die Form der Gefäſse annehmen, worin sie sich befinden, und ihre Oberfläche muſs mit der Oberfläche des ganz eben gedachten Ellipsoids der Erde parallel laufen.

Aus dem oben (§. 15) angegebenen Begriffe der tropfbaren Flüssigkeit folgt, daſs die einzelnen Quantitäten derselben, insofern sie keine meſsbare Reibung erleiden, auf jeder vorhandenen oder sich bildenden geneigten Ebene herabflieſsen, und den niedrigsten gegebenen Ort einnehmen. Schon hieraus geht hervor, daſs sie in Gefäſsen die tiefer liegenden Räume so lange anfüllen werden, als solche vorhanden sind, bis sie überall an den Wänden der Gefäſse anliegend, die Form derselben angenommen haben, und hiernach kann im Zustande der Ruhe das Gleichgewicht nur dann hergestellt seyn, wenn ihre Oberfläche eine ebene waagerechte oder horizontale ist. Es folgt aber auſserdem aus der Glätte der einzelnen Theilchen tropfbarer Flüssigkeiten und ihrer unmeſsbar kleinen Reibung an einander, daſs ein jedes derselben einem erhaltenen Drucke nach allen Seiten hin ausweicht, weswegen sich ein gegen eine gegebene Masse einer Flüssigkeit ausgeübter Druck nach allen Seiten hin gleichmäſsig verbreitet. Denkt man sich daher ein Gefäſs mit einer Flüssigkeit angefüllt, und gegen eine Stelle derselben einen Druck ausgeübt, so wird dieser nicht bloſs auf die in seiner geraden Richtung liegenden Theile wirken, wie bei festen Körpern, sondern indem er die dem drükkenden Körper zunächst liegenden Theile in Bewegung setzt, und die diese lezteren umgebenden Massen zum Ausweichen nöthigt, muſs er sich durch die ganze Masse gleichmäſsig verbreiten [1]). Befindet sich daher in einem Gefäſse bloſse Flüssigkeit, und wird einstweilen vom Luftdrucke abstrahirt, so sind alle Theile derselben, als der Schwere unterworfene, zugleich drückende, und, mit Ausnahme der obersten, auch gedrückte. Hat das Gefäſs loth-

[1]) Vergl. Leslie Elements of Nat. Phil. I. p. 257.

rechte Wände, nebst waagerechtem Boden, so kann man sich die ganze Masse der Flüssigkeit aus einer beliebigen Menge einzelner lothrechter Säulen bestehend vorstellen, welche insgesammt, sowohl im Ganzen, als in ihren einzelnen Theilen, im Gleichgewichte seyn müssen, weil sie sich überall mit einem gleichen Drucke entgegenwirken, und dieses fordert daher nothwendig eine gleiche Länge derselben und eine hieraus folgende völlig ebene, waagerechte Oberfläche, indem die angegebene Bedingung sofort würde aufgehoben werden, wenn irgend ein schwerer Körper, also auch ein Theil der Flüssigkeit, einen Druck auf eine einzelne dieser Säulen ausübte, wodurch das Gewicht derselben über das der umgebenden vermehrt würde. Der Luftdruck kann dieses Gesetz nicht abändern, weil er auf jede der Säulen gleichmäfsig wirkt.

Insofern diese angegebene Erscheinung von dem Gewichte der einzelnen Säulen abhängt, also durch ihre Schwere bedingt wird, so folgt, dafs die ganze Erde, als flüssig gedacht, im Zustande der Ruhe eine kugelförmige Gestalt haben müfste, wenn durch die gleiche Wirkung der Schwere auf alle Theile das Gleichgewicht aller dieser Säulen stattfinden soll. Diese Gesetze können ferner nicht abgeändert werden, wenn eine der angenommenen Säulen auf einem genügend widerstehenden Körper ruhet, und da wir uns den Durchmesser derselben willkührlich klein denken können, so dafs hierfür das Element einer schiefen Fläche, auf welcher im Ganzen mehrere derselben ruhen, als gerade betrachtet werden kann, so hebt eine gegen den Horizont geneigte Bodenfläche eines Theiles der Erde oder eines Gefäfses die waagerechte Oberfläche der Flüssigkeit nicht auf. Indem aber endlich die Erde vermöge ihrer Rotation nicht völlig rund ist (§. 217), so giebt die Meeres-Oberfläche die eigentliche Gestalt des ellipsoidischen Erdsphäroids an, über welche das Land mehr oder weniger hervorragt: die freie Oberfläche einer in irgend einem Gefäfse enthaltenen Flüssigkeit aber ist jener Oberfläche parallel, beide im Zustande völliger Ruhe gedacht.

Das Meer, so wie grofse und kleine Seen, haben diese ebene Oberfläche nur bei völliger Ruhe. Ein Theil derselben, dessen Krümmung bei der Gröfse der Erde unmefsbar ist, erscheint dann als eben, und giebt die Horizontalebene, oder diejenige Ebene, welche mit der aus jedem gegebenen Puncte der Erdoberfläche nach dem Inneren gefällten Normale lauter rechte Winkel bildet, und mit

welcher wiederum die lothrechte oder perpendiculäre Linie, die Falllinie der Körper, gleichfalls lauter rechte Winkel bildet. Wird diese Ebene durch irgend eine Flüssigkeit in einem geeigneten Gefäſse, als Quecksilber, Olivenöl mit Kienruſs gefärbt und durch ein leinenes Läppchen gepreſst, Wasser mit Tinte gefärbt u. s. w., künstlich nachgebildet, so erhält man die künstlichen Horizonte, welche dann Quecksilber-, Oel-, Wasser- u. s. w. Horizonte genannt werden, und für Messungen der Höhenwinkel den Meerhorizont ersetzen. Wird die Flüssigkeit, namentlich Weingeist, wegen seiner groſsen Beweglichkeit in eine runde Büchse so eingeschlossen, daſs unter einer, mit der Bodenplatte parallelen Glasscheibe eine entstehende Luftblase die Grenze der künstlichen Horizontalebene angiebt, so erhält man die zur waagerechten Stellung dienenden Büchsen-, oder gewöhnlicher Dosen-Libellen. Empfindlicher sind die Röhrenlibellen oder Wasserwaagen, insbesondere je länger sie sind, und je gröſser die enthaltene Luftblase ist. Sie bestehen aus gehörig gefaſsten und an den Enden zugeblasenen Glasröhren mit eingeschlossenem Weingeist, und einem so weit leergelassenen Raume, daſs die sich bildende Blase durch ihr Entweichen nach dem höheren Ende der Röhre den horizontalen Stand dieser Röhrenlibelle anzeigt. Die feinsten werden inwendig ausgeschliffen, damit der Weingeist die inneren Wandungen leichter berühre, und dadurch die Blase eine genauere horizontale Ebene bilde, das eine Ende wird dann mit einer etwas conischen eingeschmirgelten Glasscheibe vermittelst schnell trocknenden Oelkittes verschlossen, dann wird die Röhre mit Weingeist gefüllt, dieser am offenen Ende angezündet, um einen luftleeren Raum zu bilden, und die Platte wird dann auf dieses Ende während des Brennens des Weingeistes gleichfalls aufgekittet. Sie müssen in der Mitte unmerklich gekrümmt seyn, damit die Blase dort stehen bleibe; indeſs erhalten sie diese Krümmung durch das Ausschleifen von selbst, indem der hin und her geschobene Embolus mit Schmirgel dort mit der Fläche öfter in Berührung kommt, als an den Enden.

§. 40.

Die horizontale Oberfläche in Gefäſse eingeschlossener, bloſs ihrem eigenen Gewichte und dem überall auf ihnen gleichen Luftdrucke ausgesetzter, Flüssig-

keiten bleibt auch dann unverändert, wenn man von einem gegebenen Theile derselben bis zu einem andern willkührlich gestaltete, durch die Masse der Flüssigkeiten fortgeführte Grenzen annimmt, diese sich als fest werdend und somit eine Masse der Flüssigkeit einschliefsend, vorstellt, und dann die übrige umgebende Flüssigkeit wegnimmt. Hieraus erklärt sich der gleich hohe lothrechte Stand der Flüssigkeiten in willkührlich gestalteten, communicirenden Röhren, und mit Rücksicht auf das Gewicht der eingeschlossenen Massen das Gesetz des Druckes derselben gegen die einschliefsenden Wände, welches dem Producte der Basis in die Höhe bis zum Wasserspiegel gleich ist. Lezterer Hauptgrundsatz der Hydrostatik verstattet die vielfachsten Anwendungen.

Obgleich die Lehren der Hydrostatik, Hydraulik und Hydrodynamik allgemein auf alle Flüssigkeiten anwendbar sind, so pflegt man sie doch zunächst aus dem Verhalten des Wassers abzuleiten, und auf dieses wieder anzuwenden, wie denn überhaupt diese Namen von ὕδωρ (Wasser) gebildet sind. Unter Hydrostatik versteht man die Lehre vom Gleichgewichte der Flüssigkeiten, die Hydraulik umfafst die Gesetze der Bewegung derselben in Röhren, die Hydrodynamik erörtert diejenigen Bewegungen, welche das Wasser erhält und andern Körpern mittheilt, und die Hydrotechnik die Construction derjenigen Maschinen, Grenzen und Wandungen, welche das Wasser einschliefsen oder bewegen, und durch dasselbe bewegt werden.

Ist ein willkührlich gestaltetes Gefäfs A B C D mit Was-
Fig. 21.] ser angefüllt, dessen obere freie und blofs dem Luftdrucke ausgesetzte Fläche bei a b seyn möge, und man denkt sich, dafs die in der Masse desselben gebildeten Wandungen $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ plötzlich fest, dann aber die umgebende Wassermasse weggenommen würde, so werden die Theile der vorigen Ebene $\alpha\zeta$ und $\gamma\delta$ unverändert in gleichem Niveau bleiben. Insofern der hiernach gebildete Canal offenbar als zwei oder mehrere communicirende Röhren zu betrachten sind, deren Gestalt sowohl als auch die Weite ganz willkührlich ist, so folgt daraus das hydrostatische Gesetz, dafs gleichartige Flüssigkeiten in communicirenden

Röhren von beliebiger Zahl, Richtung und Weite an den gesammten Enden eine horizontale Ebene bilden.

Eine unmittelbare Anwendung dieses Satzes giebt die Canalwaage. Diese besteht aus einer horizontalen blechenen, an beiden Enden rechtwinklich in die Höhe gebogenen und mit eingekitteten Glasröhren versehenen Röhre. Wird in diese Wasser gegossen, so geben die beiden Niveau's in den Enden die horizontale Ebene, welche zum Visiren benutzt werden kann. Sie giebt indefs nur geringe Genauigkeit, weil es schwer ist, den Lichtstrahl, namentlich durch das Glas der Endröhren, genau mit den Flächen des Wassers zusammenfallen zu lassen, und aufserdem die Capillarität (s. §. 69) auf den Stand des Wassers in Röhren von der Weite solcher Apparate einen Einflufs hat. Ungleich besser sind die mit Quecksilber gefüllten Canalwaagen. Sie bestehen aus einem hölzernen, 15 bis 18 Zoll langen und etwa 2 Zoll breiten und hohen Parallelopipedon mit zwei quadratischen oder runden Vertiefungen an beiden Enden, welche lothrecht in die Masse des horizontal liegenden Holzes eingesenkt, und durch einen mit der Axe desselben parallelen engen Canal verbunden sind. Da hinein wird Quecksilber gegossen, welches sonach an beiden Enden in gleichem Niveau steht, und ganz gleiche, hierauf ruhende, elfenbeinene Schwimmer, der eine mit einem Löchelchen, der andere mit einem horizontalen Silberdrahte, dienen dann zum Visiren. Das Quecksilber in den Vertiefungen wird nach dem Gebrauche durch festgeschrobene, mit Leder gefütterte, Deckel abgesperrt; brauchbarer würde indefs die Waage seyn, wenn die Schwimmer ein leichtes Fernrohr mit Fadenkreuz zu tragen vermögten.

Aus dem angegebenen hydrostatischen Gesetze vom gleich hohen Stande des Wassers in communicirenden Röhren lassen sich die Gesetze vom Drucke der Flüssigkeiten leicht ableiten. Sind zuvörderst A B, C D zwei sehr un-
Fig. 22] gleich weite, durch einen Canal B D verbundene Röhren, und steht in ihnen das Wasser in gleichem Niveau ff, so mufs offenbar der kleine Wassercylinder C D den grofsen A B zu balanciren im Stande seyn. Schon Pascal machte dieses Problem als hydrostatisches Paradoxon bekannt, und erklärte es aus dem von Cartesius aufgestellten Gesetze des Hebels, wonach das Gleichgewicht hergestellt ist, wenn die Producte aus den Massen in die Geschwindigkeiten gleich sind (vergl. §. 36). Wäre nämlich das Verhältnifs der Wassermassen in beiden Schenkeln

wie 10 zu 1, so müſste das Wasser im Kleinen um 10 Zoll steigen, wenn es im Groſsen um 1 Zoll fallen sollte, ein von d'Alembert [1]) und Dan. Bernoulli [2]) übrigens nicht als gültig anerkannter Beweis. Der scharfsinnige Pascal gab schon an, daſs sich hierdurch eine bedeutende mechanische Gewalt erhalten lasse, wie auch daraus ganz einfach folgt, daſs die Gewichte der Wassermengen in beiden Cylindern sich wie die Quadrate der Durchmesser verhalten, wobei indeſs nicht zu übersehen ist, daſs die für verlangte Höhen erforderlichen Mengen des Wassers in einem gleichen Verhältnisse stehen. Um die von diesem Satze gemachten Anwendungen zu verstehen, muſs man auſserdem berücksichtigen, daſs es gleichgültig ist, ob beide Cylinder weit von einander abstehen, oder in unmittelbarer Berührung sind, daſs der kleinere auch im groſsen enthalten, und der groſse unten am kleinen befestigt seyn kann, ja, daſs selbst die Neigung derselben gegen den Horizont die Wirkung nicht aufhebt, wenn man im lezteren Falle die Zerlegung der dann wirksamen Kräfte nicht übersieht, wie aus dem Folgenden erhellen wird.

Die unmittelbarste Anwendung giebt Wolf's anatomischer Heber (sypho anatomicus) [3]). Dieser besteht aus einer etliche Fuſs hohen engen Röhre CD, dem Canale DB, und einem kurzen, etwa bis cd reichenden Ende des weiten Cylinders, über dessen Oeffnung eine Thierblase gebunden wird. Das obere Ende der engen, nur etwa 1 Zoll weiten Röhre ist meistens mit einem Trichter versehen, um Wasser hineinzugieſsen, wodurch dann die Blase über dem groſsen, 6 bis 8 Zoll weiten, Cylinder mit einer Kraft gehoben wird, welche dem Gewichte eines Wassercylinders von der Basis des weiten Cylinders und der Höhe bis zum Wasserspiegel im engen Rohre gleich ist. In ungleich gröſserem Maſsstabe läſst sich dieses Paradoxon zeigen durch s'Gravesande's follis hydrostaticus [4]). Dieser besteht aus zwei 1 bis 2 Fuſs im Durchmesser haltenden, in Oel getränkten Scheiben von starkem Eichenholze, welche durch einen etliche Zoll hohen umgenagelten ledernen Streifen in paralleler Richtung über einander befestigt sind. Die

1) Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides. Par. 1744. 4. §. 13.

2) Hydrodynamica. Sect. II. §. 3.

3) Elem. math. II. p. 330.

4) Phys. elem. math. I. p. 415. §. 1451.

obere Scheibe ist in der Mitte durchbohrt, und mit einem engen, oben in einen Trichter endigenden, etliche Fufs hohen, in die Oeffnung fest eingesteckten, Rohre versehen. Sind die Scheiben durch Zusammenfaltung des rundum wasserdicht befestigten Leders mit einander in Berührung, wird dann die obere Scheibe mit einigen Centnern beschwert, und Wafser in den Trichter gegossen, so hebt eine geringe Menge desselben das gesammte Gewicht in die Höhe. Wäre z. B. der Flächeninhalt der Scheibe 1 Par. Quadratfufs, das enge, bis oben angefüllte Rohr 6 F. hoch, so würde dieses einen Wassercylinder von 6 Par. Cub. F. Inhalt geben, und mit einem diesem äquivalenten Drucke, also den Cub. F. = 70 ℔ angenommen, mit 420 ℔ Gewicht würde die obere Scheibe gehoben werden Am aller instructivsten ist der Tubus Volderianus, welchen ein holländischer Arzt, Volder, im Anfange des vorigen Jahrhunderts angegeben hat, und woran sich zugleich zeigen läfst, dafs das Gewicht des Wassers selbst geringer ist, als der Druck, welchen dasselbe ausübt. Ein metallener Cylinder
Fig. 23.] ABCD ist oben mit einem festgeschrobenen Deckel AC, und unten mit einer beweglichen, vermittelst etwas Fett auf dem Falze ruhenden Bodenplatte ab versehen. In der Mitte der lezteren befindet sich ein Haken, woran die Kette cd befestigt, und durch das lange, enge Rohr ef in die Höhe geführt ist. In diesem Rohre sind seitwärts mehrere Löcher m.... angebracht, wovon das erstere genau zwei Par. Fufs von der Bodenplatte absteht, jedes folgende aber einen Par. F. über dem nächst niedrigern sich befindet. Ist dann die Bodenplatte mit etwas Fett fest angedrückt, und der Apparat bis an die erste Oeffnung mit Wasser gefüllt, so wird das obere Ende der Kette an den einen Arm eines Waagebalkens aufgehangen, und das Ganze durch Gegengewichte ins Gleichgewicht gebracht, dann verschliefst man mehrere oder alle Seitenöffnungen des Rohres, giefst lezteres voll Wasser, ersetzt das vermehrte Gewicht durch die erforderlichen Gegengewichte, beschwert aber dann den Deckel AC durch eine dem Wasserdrucke gegen die Bodenplatte proportionale Menge Gewichtstücke, und legt ebensoviel in die Waagschale zu, wodurch der Beweis gegeben wird, dafs einige Lothe Wasser einen Druck von mehr als einem Centner zu erzeugen vermögen.

Eine technisch nützliche Anwendung dieses Gesetzes bietet die vom Grafen Real erfundene hydrostasische oder

Extractions-Presse dar, deren er sich anfangs blofs zur Bereitung des Café's bediente. Sie besteht im Wesentlichen, wie der eben beschriebene Apparat, aus einem weiten Cylinder, in welchen die zu extrahirenden Substanzen in Pulverform gebracht, und vorläufig mit der zum Extrahiren bestimmten Flüssigkeit vollständig getränkt werden. Im Boden des Cylinders befinden sich verschiedene Löcher, oder ein Ablaufrohr, meistens aber liegt über demselben noch ein siebförmiges Blech und ein leinenes oder wollenes Seihetuch. Wird dann durch das meistens 8 F hohe Rohr in der oberen Platte von der extrahirenden Flüssigkeit nachgegossen, so drückt diese nach hydrostatischen Gesetzen auf die im Cylinder befindliche, mit den zu extrahirenden Substanzen gesättigte Flüssigkeit, und treibt sie vor sich her durch die im Boden befindliche Oeffnung, und man erhält auf diese Weise den verlangten Extract. Das Wesen des Apparates beruhet also darauf, dafs man die saturirte Flüssigkeit erhält, ohne mechanische Pressung anzuwenden, wodurch die zu extrahirenden Substanzen ohnehin verdichtet werden und die Extracte weniger leicht hergeben, woraus denn zugleich folgt, dafs eine bedeutende Vermehrung des Druckes durch Verlängerung des Rohres ganz überflüssig ist, indem die tropfbaren Flüssigkeiten so wenig compressibel sind, und ihre Auflösungsfähigkeit durch Vergröfserung des Druckes nicht vermehrt wird. Verschiedene Künsteleien, welche man an diesem Apparate angebracht hat, namentlich eine Compressionspumpe oben statt des hydrostatischen Druckes im langen Rohre, oder eine Luftpumpe unten, um durch Wegnahme der Luft den Druck derselben auf die obere Fläche der Flüssigkeit ganz zu erhalten, liegen so nahe bei der Sache, dafs sie keiner Beschreibung im Einzelnen werth sind. Eine kurze Erwähnung verdient indefs die durch Döbereiner vorgeschlagene mikrochemische Extractionspresse. Sie besteht aus einer blofsen Glasröhre, unten mit einem Korke verschlossen, durch welchen ein feines Glasröhrchen geht, um den Extract aus dem in der Glasröhre befindlichen Pulver durchzulassen, wobei zugleich ein um den Kork vor dem Einstecken in die Röhre geschlagenes Läppchen das Eindringen des Pulvers in das feine Röhrchen hindert. Auf das aus der Röhre hervorragende Ende des Korkes pafst eine kleine Phiole, oder nur ein Medicinglas. Beim Gebrauche wird das zu extrahirende Pulver in die Röhre gebracht und hinlänglich befeuchtet, dann giefst man einige Tropfen Wein-

getst in die Phiole, und verwandelt diese über Kohlen in Dampf, so wird die Luft ausgetrieben, und nachdem das genannte Kork-Ende auf die Phiole gesteckt ist, und in dieser durch Abkühlung ein luftleerer Raum entsteht, so drückt die Luft den Extract durch das Röhrchen in die Phiole Dieser kleine Apparat ist interessant, weil mehrere physikalische Gesetze, namentlich vom Luftdrucke und der Dampfbildung, dadurch erläutert werden [1]).

Brahma's hydraulische Presse, welche lange schon in England gebraucht wurde, gegenwärtig auch auf dem Continente eingeführt ist, besteht bloſs aus communicirenden Röhren von ungleicher Weite. Die enge Röhre CD ist
Fig. 22] entweder mehrere hundert Fuſs hoch, oder wenn hierzu kein hinlänglich hoher Wasserfall vorhanden ist, mit einer durch einen Hebel getriebenen Druckpumpe versehen, womit leicht ein Wasserdruck von mehreren Hundert Fuſs Höhe hervorgebracht werden kann. Die weite Röhre AB ist ein sehr weiter eiserner oder metallener Cylinder von etlichen Fuſsen Höhe und Durchmesser, in welchem ein dicht schlieſsender Embolus durch das aufsteigende Wasser gehoben wird, und hierbei die Pressung mit einer dem Gewichte des gehobenen Wassercylinders proportionalen Kraft ausübt. Betrüge z. B. der Flächeninhalt eines horizontalen Querschnittes des groſsen Cylinders 5 Par. Quadratfuſs, und übte der kleine Cylinder einen Druck aus, gleich einer Wassersäule von 200 F., so gäbe der gehobene Embolus eine Pressung von $5 \times 200 \times 70 = 70000$ ℔. Ueberhaupt ist die Berechnung des erhaltenen Effectes sehr leicht, indem die gehobene Last zur angewandten Kraft sich verhält wie die Quadrate der Durchmesser beider Röhren, die Reibung bei Seite gesetzt. Ein Mensch übt eine Kraft aus $= 25$ ℔, und wenn diese durch den Hebel des Druckwerks in der engen Röhre nur um das Vierfache vermehrt wird, so giebt dieses die Kraft in der engen Röhre $= 100$ ℔. Ist dann der Durchmesser der lezteren $= d$, des weiten Cylinders $= D$, so ist der Effect der Maschine $E = 100 \frac{D^2}{d^2}$. Es sey $d = 1$ Zoll, $D = 3$ Fuſs, so ist $E = 129600$ ℔. Man sieht also, zu welcher Kraft dieselbe gebracht werden kann, wobei jedoch nicht zu übersehen, daſs der Raum, durch

[1]) Ueber die Extractionspresse vergl. Geiger Beschreibung der Realschen Presse. Heidelb. 1817. 8. Allgemeine Nordische Annalen. I. 482.

welchen der Hebelarm bewegt werden mufs, nach mechanischen Gesetzen in eben jenem Verhältnifs gröfser ist, als die Höhe, bis zu welcher der Embolus im grofsen Cylinder gehoben wird. Die Maschine hat aufserdem noch einen Vortheil darin, dafs die Reibung bei ihr geringer ist, als z. B. bei der Schraube, bei welcher sie bis zur Hälfte der angewandten Kraft steigen kann; eine Schwierigheit der praktischen Anwendung liegt indefs darin, dafs es Mühe kostet, den Embolus des grofsen Cylinders genau wasserdicht schliefsen zu machen.

Aus dem nach allen Seiten sich fortpflanzenden Drucke tropfbarer Flüssigkeiten folgen unmittelbar die Grundsätze zur Berechnung der Kraft, die das Wasser gegen diejenigen Wände ausübt, welche dasselbe einschliefsen, oder welche in dasselbe eingetauchte Körper begrenzen. Wird zuvörderst vom Luftdrucke abstrahirt, welcher um so leichter vernachlässigt werden kann, da er nach allen Seiten wirkt, und die einzelnen Pressungen sich daher gegenseitig aufheben, so kommt blofs das Gewicht des Wassers in Betrachtung, und die Richtung der Schwerkraft, in welcher dasselbe wirkt. Ist daher irgend ein Gefäfs ABCD gegeben, und man nimmt in demselben die Wassersäule abcd, Fig. 24.] welche auf den horizontalen Theil cd der Bodenfläche drückt, so erleidet dieser Theil einen Druck, welcher offenbar der Summe der Pressungen aller einzelnen Schichten gleich ist, worin die Wassersäule zerlegt werden kann, und deren Höhe bis zum Wasserspiegel ab gleichfalls gegeben ist. Heifst also die eine Seite jener Fläche cd = a, die andere = b, die Höhe bis zum Wasserspiegel = h, alle diese Gröfsen in dem nämlichen Mafse ausgedrückt, die Dichtigkeit der Flüssigkeit = D, so ist der Druck gegen die gegebene Fläche $\Pi = abhD$. Unter der Dichtigkeit müfste man zwar das specifische Gewicht verstehen, allein weil die Bestimmungen meistens sich auf Wasser beziehen, und die übrigen Gröfsen in irgend einem Fufsmafse genommen werden, so setzt man für D am bequemsten das Gewicht eines Cubikfufses Wasser, und kann bei den Bestimmungen für andere Flüssigkeiten dann einen Coefficienten des spec. Gewichtes $= \pi$ einführen. Ist diesemnach a = 2 F., b = 3 F., h = 5 F., D = 70 ℔, so ist $\Pi = 2100$ ℔, und für jede andere Flüssigkeit wäre $\Pi = abh\pi \times 70$ ℔. Es folgt hieraus, dafs für jede horizontale Fläche, von welcher Gestalt sie auch seyn mag, der quadratische Inhalt = I gesucht und mit hD multiplicirt werden müsse, um den

ganzen dagegen ausgeübten Druck zu finden, welcher diesemnach bei parallelen Wänden dem Gesammtgewichte der Flüssigkeit gleich ist.

Wenn die Fläche unter einem Winkel D′D d′ $= \varphi$ gegen den Horizont geneigt ist, so läſst sich der gegen dieselbe ausgeübte lothrechte Druck zerlegen in D d′ und D′d′, wovon lezterer bei dieser Betrachtung wegfällt; und da also bloſs derjenige zu berechnen ist, welcher aus dem Verhältniſs der Linien $\frac{D'd'}{DD'} = \cos. \varphi$ gegeben ist, wenn man von dem Seitendrucke abstrahirt, in diesem Falle aber ferner die Höhe des Wassercylinders zwischen $Df = h$ und $D'\beta = h'$ in der Mitte liegt, so ist $\Pi = I. \frac{h+h'}{2} \pi \cos. \varphi. 70$ ℔ dasjenige Gewicht, womit das Bodenstück lothrecht herabgedrückt wird. Der Seitendruck der Flüssigkeiten ist aber nach den angestellten Betrachtungen dem lothrechten völlig gleich; und wenn daher ein verticales Stück einer Seitenwand, dessen Flächeninhalt $= I'$, die Höhe der oberen Grenze bis zum Wasserspiegel $= h'$ der unteren $= h$ ist, von einer Flüssigkeit gedrückt wird, so ist die auf dasselbe ausgeübte Pressung, welche eine horizontale Bewegung hervorzubringen strebt, $\Pi' = I'. \frac{h+h'}{2}. \pi \times 70$ ℔. Bildet die Seitenwand mit dem Horizonte einen Winkel, wie z.B. $NC = \varphi$, so muſs die für Π gefundene Gröſse noch mit $\sin. \varphi$ multiplicirt werden. Dieser Druck wird durch einen gleich groſsen gegen die gegenüberstehende Wand aufgehoben, auch wenn diese unter dem Winkel $= \varphi'$ gegen den Horizont geneigt ist, weil $l m. \sin. \varphi = n t. \sin. \varphi'$. Weder der lothrechte, noch der horizontale, hiernach bestimmte, Druck gegen die Wandungen der Gefäſse wird also abgeändert, wenn die einschlieſsenden Seitenwände nicht vertical, sondern unter irgend einem andern beliebigen Winkel, als einem rechten, gegen den Horizont geneigt sind, vorausgesetzt, daſs eine Verbindung der Flüssigkeit unter sich und mit demjenigen Theile derselben stattfindet, welcher die gröſste lothrechte Höhe hat, und zur Bestimmung der Gröſse h dient. Es wird also der lothrechte Druck, welchen die Wassersäule r′r q q′ gegen das Bodenstück r q und l m ausübt, eben so groſs seyn, als ob sie bis r′q′ reichte. Das Erstere folgt unmittelbar daraus, daſs der Seitendruck der Flüssigkeit ein Aufsteigen bis r′q′ in einem bei p p′ auf-

gesetzten Rohre bewirken würde, und so mufs also das Wandstück pp' einen dieser Wassersäule gleichen Druck aushalten, und wiederum gegen die Wassersäule pp'rq ausüben. Hieraus folgt aber das Zweite von selbst.

Der nach allen Richtungen hin gleich starke und der Höhe bis zum Wasserspiegel proportionale Druck der Flüssigkeiten läfst sich erläutern durch einen offenen gläsernen, unten eben geschliffenen Cylinder und eine Metallplatte, welche an einem im Cylinder herabgelassenen Faden vermittelst eines in ihrer Mitte befindlichen Hakens an die untere Fläche angedrückt wird. Taucht man den so vorgerichteten Cylinder in ein Gefäfs mit Wasser so tief, dafs das verdrängte Wasser mehr wiegt, als die Metallplatte, so wird dieselbe durch den Wasserdruck den Boden nach losgelassenem Faden verschliefsen, und bei tieferem Herabsinken noch ein verhältnifsmäfsiges Gewicht zu tragen vermögen [1]) Noch anschaulicher wird die Sache, wenn man an eine Glasröhre eine Thierblase bindet, diese etwa zur Hälfte mit Wasser füllt, und dann in ein Gefäfs mit Wasser herabsenkt. Kommt sie tiefer hinein, als das Niveau des Wassers in ihr ist, so wird dieses steigen, und die Röhre allezeit so weit füllen, als wohin der Spiegel des Wassers im Gefäfse reicht.

Aus dem angegebenen Gesetze erklärt sich leicht der Druck des Wassers gegen die Brust, und überhaupt den Körper der Menschen, welche im Wasser stehen, die ungeheure Gewalt, womit das Wasser sich neben dem Korke in Bouteillen drängt, welche in die Tiefe des Meeres hinabgelassen werden, oder diese endlich ganz zerdrückt, wenn es in sie nicht eindringen kann. Es läfst sich ferner hiernach leicht die Kraft berechnen, welche das Wasser (vorausgesetzt im Zustande der Ruhe) gegen die Wände der Canäle und Schleusen ausübt, und diejenige, womit es unterwühlte Dämme zu heben vermag. Hieraus ergiebt sich ferner, warum die Docken so gut verwahrt seyn müssen, wenn man die Schiffe bei hohem Wasserstande hineinbringt, und dieselben nach Entfernung des Wassers trocken erhalten will. Bei kubischen Gefäfsen beträgt der Druck des Wassers gegen die gesammten Wände doppelt so viel, als das ganze Gewicht desselben; allgemein ist derselbe bei gleichen Höhen bis zum Wasserspiegel dem Flächeninhalte der gedrückten Wandungen proportional. Die Stärke der

---

[1]) S. s'Gravesande El. Phys. I. p. 428. §. 1508.

Wandungen bei cylindrischen oder anders gestalteteten Gefäfsen mufs diesemnach der Höhe des Wassers direct proportional seyn, wenn sie dem Drucke hinlänglichen Widerstand leisten sollen [1]).

§. 41.

Wenn der eine Schenkel communicirender Röhren abgeschnitten ist, so müfste das Wasser aus demselben eigentlich zur Höhe des vorigen Standes springen. Durch den Widerstand der Luft, Adhäsion des Wassers an den Wänden und den Gegendruck des herabfallenden Wassers wird diese Höhe um eine schwer zu bestimmende Gröfse vermindert.

Dafs das Wasser in einem Schenkel einer communicirenden Röhre bis zum Niveau im andern gehoben wird, ist als Folge des lothrechten Druckes dargestellt, welchen dasselbe ausübt. Wenn daher der eine dieser Schenkel abgeschnitten ist, so mufs gegen das hierin befindliche Wasser ein Druck ausgeübt werden, welcher der Wasserhöhe im andern proportional ist, und dasselbe mufs daher eine Geschwindigkeit der Bewegung erhalten, welche eine Function der Fallhöhe im andern Cylinder ist. Bei allen Arten von Springbrunnen, den Feuerspritzen u. s. w. wird dieser Druck entweder durch eine stets wieder ersetzte Wassersäule in einem verschlossenen Canale, bei welchem nur die lothrechte Höhe in Rechnung zu nehmen ist, oder durch einen pressenden Emholus, oder durch die Elasticität der zusammengeprefsten Luft, bei den natürlichen heifsen Springbrunnen endlich durch die Gewalt der Dämpfe erzeugt. Ist der Luftdruck bei der Ausflufsröhre aufgehoben, so kommt zum Wasserdrucke noch der Druck der Luftsäule, welcher bei einem vollkommenen Vacuo einer Wassersäule im Mittel von 32 Par. Fufs äquivalent ist; im Fall aber, dafs der Luftdruck auf das Zuflufsrohr $= P$, auf das Ausflufsrohr $= P'$ ist, durch 32 F. $(P - P')$ ansgedrückt wird, mithin für P' gröfser als P auch negativ werden oder rückwärts wirken kann.

---

[1]) Nach Leslie Elements of Nat. Phil. I. p. 282. soll die Metalldicke cylindrischer Röhren bei gleicher Höhe des Wassers dem Durchmesser derselben proportional seyn. Die Unrichtigkeit dieses Satzes ergiebt sich daraus, dafs hiernach die Ufer grofser Seen einen unermefslichen Druck aushalten müfsten.

Unter die bekanntesten Springbrunnen gehören die zu Versailles, bei welchen das Wasser durch 14 unterschlächtige Räder und eine sehr grofse Menge Druckwerke auf einen 500 F. hohen Thurm gebracht wird, und aus dem daselbst befindlichen Behälter den verschiedenen Fontainen zuströmt [1]). Die riesenhaften Werke daran sind durch die Zeit sehr verfallen. Die grofse, 80 Fufs Sprunghöhe erreichende Fontaine auf Wilhelmshöhe bei Hessen-Cassel erhält ihre Sprunghöhe durch den Fall des Wassers von dem benachbarten Berge herab Interessanter ist die Fontaine zu Herrenhausen bei Hannover, welche ihre Steigkraft durch ganz in der Ebene liegende, vermittelst 5 unterschlächtiger Wasserräder getriebener, Druckwerke erhält, und in gröfster Höhe über 100 F. erreicht. Sobald bei solchen Druckwerken die Wirkung des pressenden Embolus aufhört, um die Räume wieder mit Wasser zu füllen, wird der Strahl unterbrochen, und mufs durch wiederbeginnenden Druck aufs Neue erzeugt werden. Völlig läfst sich diese Unterbrechung dadurch nicht aufheben, dafs man mehrere, in ihrer Bewegung wechselnde, Kolben anbringt. Feuerspritzen dieser Art, meistens von geringer Gröfse, werden Stofsspritzen genannt. Um einen nicht unterbrochenen Wasserstrahl zu erhalten, bringt man einen Windkessel an, d. h. einen metallenen Behälter, in welchem das Wasser aufsteigt, und dadurch die eingeschlossene Luft zusammenprefst, welche dann während der kurzen Zwischenräume des Kolbenspieles mit einer ihrer Zusammendrückung proportionalen Kraft auf das Wasser wirkt, und dasselbe in ununterbrochener Strömung erhält [2]).

Obgleich nach den für communicirende Röhren aufgefundenen Gesetzen das Wasser bis zu der nämlichen Höhe wieder steigen müfste, als von welcher es herabfällt, so erreicht es diese doch aus den bekannten, leicht begreiflichen Gründen nie völlig, sondern bleibt allezeit um eine mit der Fallhöhe wachsende Gröfse zurück. Es ist indefs noch nicht gelungen, den Einflufs einer jeden einzelnen jener Ursachen genau anzugeben, und der Unterschied der Fallhöhe und der Sprunghöhe läfst sich daher theoretisch nicht vollständig bestimmen. Die zur Erlangung der höchsten

---

[1]) Weidleri Tractatus de machinis hydraulicis toto terrarum orbe maximis, Marliensi et Londinensi. Viteb. 1733. 4.

[2]) G. S. Klügel Abhandl. von der besten Einrichtung der Feuerspritzen u. s. w. Berlin 1774. 4.

Sprunghöhe = h erforderlichen Bedingungen können daher nur durch viele und genaue Versuche ausgemittelt werden. Nach Mariotte's Gesetze [1]), welches durch andere Gelehrte bestätigt wurde, ist die Fallhöhe = H bei hinlänglicher Weite der Röhre und gehöriger Proportion der Ausgufsöffnung

1) wenn leztere aus einem durchlöcherten Bleche besteht, $H = h + \frac{h^2}{300}$, also $h = -150 + \sqrt{(300\,H + 22500)}$.

2) Bei einem Aufsatzrohre ist $h = -100 + \sqrt{(133\,H + 10000)}$. Beide im Allgemeinen genügende Formeln verbessert Langsdorf, indem er $h = -150 + \sqrt{\left(22500 + \frac{300\,H}{N}\right)}$ setzt, wenn für 1, $N = \left(0{,}205 + 0{,}0095\frac{\lambda}{d}\right)\frac{\varepsilon^2}{\omega^2} + 1$, für 2 aber $N = \left(0{,}538 + \frac{0{,}025\,\lambda}{d}\right)\frac{\varepsilon^2}{\omega^2} + 1{,}538$ genommen wird. Hierin ist λ die Länge der Röhrenleitung, d ihr Durchmesser, ω die Weite der Röhrenleitung, und ε die Oeffnungsfläche derselben beim Ausflusse [2]).

§. 42.

In einem ruhenden, mit gleichartiger Flüssigkeit angefüllten Gefäfse werden alle einzeln genommenen Quantitäten derselben in Ruhe seyn, weil der gesammte unter sich gleiche Gegendruck gleichhoher Wassersäulen (§. 40) dieses Gleichgewicht hervorbringt, und das Gewicht einer jeden einzeln genommenen Quantität der Flüssigkeit aufhebt. Da diese Erscheinung nicht auf der eigenthümlichen Beschaffenheit irgend einer Flüssigkeit, sondern auf der Statik der Flüssigkeiten überhaupt beruhet, so folgt

1) dafs ungleichartige Flüssigkeiten nach ihrem respectiven oder specifischen Gewichte über einander stehen.

---

[1]) Traité du mouvement des Eaux. In Oeuv. II. p. IV. disc. I.

[2]) S. Einleit. S. 194. Vergl. Switzer Introduction to hydrostaticks and hydraulicks. 1729. 2 vol. 4.

2) dafs jeder Körper in jeder Flüssigkeit nach dem Verhältnifs ihrer beiderseitigen Gewichte mehr als ganz, ganz oder zum Theil getragen wird.

Wenn man sich in einer gegebenen gleichartigen Flüssigkeit eine horizontale Schichte irgend einer anderen leichteren oder schwereren Flüssigkeit abcd denkt, und diese in eine beliebige Menge gleicher, lothrechter Säulen zerlegt, so wird jede derselben durch eine gleich schwere Säule der überstehenden Flüssigkeit gedrückt, und drückt dann selbst mit diesem, durch ihr eigenes vermehrten Gewichte auf eine gleiche Säule der unter ihr befindlichen Flüssigkeit. Indem hiernach also alle Bedingungen ganz gleich sind, mufs von selbst der Zustand des Gleichgewichts, und also der Ruhe, eintreten. In diesem Falle könnte also die Schichte sowohl aus einer leichteren als auch aus einer schwereren Flüssigkeit bestehen, und müfsten dann beide, die abgesonderte Flüssigkeit begrenzende Flächen horizontal und einander parallel seyn. Man übersieht aber bald, dafs ein solcher Zustand des Gleichgewichts auf keine Weise dauernd bestehen kann, indem er eine absolute Ruhe voraussetzt, nach deren Unterbrechung die leichtere Flüssigkeit sogleich aufsteigen und die schwerere herabsinken würde, weswegen es auch nur zuweilen durch grofse Mühe gelingt, eine leichtere Flüssigkeit unter eine schwerere zu bringen. Dafs sich dann aber, des Gleichgewichts wegen, die oberen leichteren und die unteren schwereren Flüssigkeiten mit parallelen Flächen begrenzen müssen, folgt aus dem Vorhergehenden unmittelbar. Zur Erläuterung dient das sogenannte Elementenglas, ein längliches Cylinderglas mit Quecksilber (oder Schmelz), Weinsteinöl, Weingeist und rectificirtem Petroleum gefüllt, und das sogenannte Passevin, oder die Verwandlung des Wassers in Wein, ein meistens in einer hölzernen Büchse eingeschlossenes kugelförmiges Glas, welches mit einem oberen Glase durch eine etwa 2 Linien weite Röhre verbunden ist. Wird das erstere mit Weine und das andere mit Wasser gefüllt, so verwechseln beide durch ihr specifisches Gewicht ihre Räume.

Fig. 22.]

Da die Flüssigkeiten in communicirenden Röhren ihr Gleichgewicht nur durch ihr Gewicht erhalten, so folgt hieraus von selbst, dafs bei ungleich schweren die Höhen sich umgekehrt wie die specifischen Gewichte verhalten.

Der nämliche Druck, welchen jede Flüssigkeit gegen irgend einen willkührlich angenommenen Theil ihrer eigenen Masse ausübt, und durch welchen derselbe im Zustande der Ruhe erhalten wird, wirkt auch auf jeden in dieselbe eingesenkten Körper, so dafs auch dieser, wie eine leichtere oder schwerere Flüssigkeit, entweder gehoben wird oder niedersinkt, oder bei ganz gleichem Gewichte an jedem Orte schwebend bleibt. Dieser an sich schon einleuchtende Satz kann geometrisch demonstrirt werden. Es
Fig. 25.] sey in das Wasser des Gefäfses ABCD irgend ein willkührlich gestalteter Körper M eingesenkt, und man nehme den Druck, welchen das Wasser gegen irgend eine verticale Säule desselben abcd ausübt, so ist (nach §. 40) der verticale Druck auf $ab = ab.h\cos.\varphi$, und auf $cd = cd.h'\cos.\varphi' = abh'\cos.\varphi$, der Unterschied beider also ist $ab\cos.\varphi(h'-h)$, wenn die Dichtigkeit der Flüssigkeit $D = 1$ angenommen wird, und dieses ist offenbar der Druck einer Wassersäule $= abcd$, wonach also jeder Körper genau um so viel durch den hydrostatischen Druck getragen wird, als ein gleiches Volumen Wasser wiegt, welches er aus der Stelle treibt. Insofern das hier Bewiesene auf alle einzelne Theile des festen Körpers pafst, so folgt hieraus unmittelbar, dafs der Körper nur in Gemäfsheit der Differenz seines Gewichtes und des Gewichtes der aus der Stelle verdrängten Flüssigkeit den Gesetzen der Schwere folgen und herabsinken kann. Heifst also das erstere P, das andere P', so sinkt er herab mit einer Kraft $k = P - P'$, welche Gröfse positiv bleibt, so lange P gröfser als P' ist (der Körper geht unter), verschwindet für $P = P'$ (der Körper schwimmt an jeder Stelle), oder negativ wird, wenn P kleiner als P' ist (der Körper schwimmt oben). Es ergiebt sich ferner von selbst, dafs die Säule abcd eines gegebenen Körpers gegen die Flüssigkeit mit einem Gewichte drücken mufs, welches dem Gewichte der aus ihrer Stelle verdrängten Flüssigkeit gleich ist, weswegen bei gröfserer Leichtigkeit der Körper soviel über das Niveau des Wassers hervorragen mufs, dafs das Gewicht des ganzen schwimmenden Körpers so viel beträgt, als das der verdrängten Flüssigkeit, woraus dann folgt, dafs das Verhältnifs des eingetauchten und des hervorragenden Theils eines schwimmenden Körpers zugleich das Verhältnifs seines Volumens und Gewichtes zu dem der Flüssigkeit, oder sein specifisches Gewicht angiebt, und dafs man, wenn dieses bekannt ist, aus dem hervorstehenden Theile auf die Gröfse des

Ganzen schliefsen kann. Forster [1]) beobachtete Eisberge, welche 160 Mill. Cubikfufs über das Wasser hervorragten, und also bei dem Verhältnisse des spec. Gewichtes 1600 Mill. Cubikfufs grofs seyn mufsten. Wird die Flüssigkeit leichter, so sinkt der Körper tiefer ein. Büsch setzt das Verhältnifs des Seewassers zu Flufswasser = 49 : 48, wonach ein Schiff, wenn es im Seewasser 12 F. eingetaucht ist, im Flufswasser, mit Rücksicht auf sein nach oben gröfseres Volumen, um 12 F. 3 Z. einsinkt. Solche Körper, bei denen ein gegebenes Volumen einen gröfseren Druck vermöge seines Gewichtes ausübt, als ein gleiches von ihm verdrängtes Volumen Wasser, sinken herab, aber nur mit einer dem Unterschiede dieser Gewichte proportionalen Kraft, welche dann das relative Gewicht genannt wird.

Wenn irgend ein leichterer Körper auf einer schwereren Flüssigkeit schwimmt, mithin sein herabdrückendes Gewicht und das emporhebende der verdrängten Flüssigkeit, nach entgegengesetzten Seiten wirkend, sich zu 0 ausgleichen, so läfst sich das Gewicht dieser beiden Massen nach mechanischen Gesetzen als im Schwerpuncte derselben vereint betrachten. Aus der Construction der Lage beider gegen einander ergeben sich dann die Gesetze des statischen Schwimmens. Da der Schwerpunct der schwimmenden Masse nach dem Gesetze der Schwere stets den tiefsten Ort sucht, und dieses sein Bestreben zu fallen, nicht aufgehoben werden, also er nicht ruhen kann, wenn ihm nicht eine gleiche Kraft in der Richtung seines Fallens entgegenstrebt, so geht hieraus nothwendig hervor, dafs durch die beiden genannten Schwerpuncte im Zustande der Ruhe eine lothrechte Linie geht, welche die Unterstützungslinie genannt wird. Beide Schwerpuncte fallen in dieser Linie, entweder zusammen, in welchem Falle der Körper in jeder Lage und an jeder Stelle ruhet, oder sie sind getrennt. In diesem lezteren Falle ist der Schwerpunct der schwimmenden Masse bleibend, der Schwerpunct der verdrängten Wassermasse (engl. centre of buoyancy) dagegen veränderlich, je nachdem der unregelmäfsig gestaltete Körper eine veränderte Lage annimmt. Aufserdem liegt der Schwerpunct der Masse über dem Schwerpuncte des verdrängten Wassers, und dann wird der Körper zuweilen, aber nicht allezeit, umschlagen, bis der zweite Fall stattfindet, nämlich

[1]) Reis. I. 70.

dafs der Schwerpunct der Masse unter dem des verdrängten Wassers in einer lothrechten Linie liegt. In beiden Fällen ist die Lage der Schwerpuncte dann wieder eine bleibende, wenn der aus dieser lothrechten Linie gerückte des Körpers so lange oscillirt, bis er seine frühere Stelle wieder einnimmt, oder eine veränderliche, wenn der etwa bewegte Körper umstürzt, und eine andere Lage im Wasser erhält, wodurch ein neuer Schwerpunct des alsdann verdrängten Wassers gebildet wird. Hieraus erklärt sich, dafs man Kugeln, bei denen der Schwerpunct dann nicht in das Centrum fällt, wenn sie nicht von ganz gleichartiger Masse sind, auf einer Flüssigkeit schwimmen läfst, um die durch ihren Schwerpunct gehende Falllinie zu finden, desgleichen warum die Eismassen in den Polarmeeren so oft umstürzen, vorzüglich wenn sich ein Theil durch Bersten von ihnen ablöset, oder sie an irgend einer Stelle eine Vermehrung oder Verminderung erhalten.

Wenn ein schwimmender Körper in oscillirende Bewegung versetzt wird, indem sein Schwerpunct und der Schwerpunct der verdrängten Flüssigkeit sich von der ihnen gemeinschaftlichen verticalen Linie entfernen, so geschehen diese Oscillationen um einen gewissen Punct, welcher der Punct des Widerstandes oder das *Metacentrum* genannt wird. Die Bestimmung desselben kommt vorzüglich beim Baue und der Belastung der Schiffe in Betrachtung, bei denen der Schwerpunct des verdrängten Wassers und der Schwerpunct der Masse mit Rücksicht auf die Belastung auf die gewöhnliche Weise gefunden werden. Drückt man hiernächst das Schiff vermittelst einer querübergelegten langen Stenge und einem an ihrem Ende angebrachten schweren Gewichte auf die Seite, so schneiden sich die durch beide genannte Schwerpuncte gezogenen Linien im Metacentrum, dessen Ort bei gleichmäfsiger Belastung des Schiffes aus dem Winkel gefunden wird, welchen die genannte Stange mit der horizontalen Linie des ruhenden Schiffes macht. Läge der Schwerpunct des Schiffes über dem Metacentrum, so müfste das Schiff nothwendig umschlagen, wogegen es so viel sicherer schwimmen wird, je weiter beide von einander abstehen, weil bei den Schaukelungen desselben der Kreis so viel gröfser ist, dessen Bögen sein Schwerpunct um das Metacentrum beschreibt. Hiernach richtet sich dann auch die Höhe der Masten, ihr Gewicht, so wie das des Tauwerks und der Segel u. s. w.,

und man ersieht daraus alsobald die Nothwendigkeit des Ballastes bei unbeladenen Schiffen [1]).

Körper, welche aus specifisch schwereren Materien gemacht sind, schwimmen durch die Kleinheit ihrer Masse, welche die Flüssigkeiten nicht zu bewegen vermag, oder durch das Einschliefsen der leichteren Luft (relatives Gewicht der Körper), oder durch Verbindung mit specif. leichteren Körpern, z. B. Goldblättchen, Pontons, Schiffe, Bouteillen, Holz, cartesianische Teufelchen, Schwimmwesten und Rettungsbote von Kork u. s. w. [2]).

Leichte Körper, von denen ein beträchtlicher Theil aus dem Wasser hervorragt, können durch aufgelegte schwere Massen verhältnifsmäfsig tiefer im Wasser niedergedrückt werden. Hierauf gründeten Champion und Tralles die Vorschläge zu ihren Senkwaagen [3]). Pelt in Kopenhagen verfertigte sich einen wurstförmigen Ring von Segeltuch mit Korkschnitzeln gefüllt, legte ihn um die Hüften und ruhete auf einem sattelförmigen Sitze, welcher an zwei Seiten des Ringes befestigt war. Dabei bediente er sich zweier Ruder, und schwamm hiermit über den Sund. Der Schwimmgürtel, welchen Hafsler zu Imnitz vorgeschlagen hat, ist ungleich weniger bequem. Foulton und die Gebrüder Coissin construirten eine hohle, eiförmige Maschine, welche, nebst den darin befindlichen Menschen, gleiches specifisches Gewicht mit dem Wasser haben, und daher in jeder Tiefe schwimmen sollte [4]), Sehr nützlich sind die sogenannten Kemeele, welche Bakker in Amsterdam schon 1688 vorschlug, und deren man sich seitdem in Holland, Venedig, Rufsland u.s.w. bediente, um schwere Schiffe über Untiefen und Sandbänke zu führen. Sie sind

---

1) S. D. Braubach practisch-theoret. Handbuch zur Erlernung d. Manoeuvres u. der Construction der Seeschiffe. Bremen 1810. Dessen Beiträge zur Erweiterung d. Kenntnifs d. Seewissensch. 1805 u. 7. Atwood über die Stabilität der Schiffe in Phil. Trans. LXXXVIII. 201. Poterat Théorie du Navire. Par. 1826. II vol. 4. Vergl. Langsdorf Handbuch der mechan. Wissensch. p. 129. Leslie Elements of Nat. Phil. I. p. 287. ff.

2) S. Hoyer Vers. eines Handb. d. Pontonirwissensch. in Absicht ihrer Anwendung zum Feldgebrauch. 3 Th. Leipig 1793. Ueber die Rettungsboote (engl. Life boots), welche durch Gordon verbessert worden sind, s. Repertory of Arts, Manufact. and Sciences. 1824. Jan. p. 42.

3) S. Gilb. Ann. XXX. 384.

4) S. Bulletin de la Soc. d'Encouragement. Cah. 82. Archives des decouvertes 1811.

bis 200 F. lange und 36 F. breite, flache und in mehrere Kammern getheilte Kähne, welche, mit Wasser gefüllt, an den Seiten der grofsen Schiffe befestigt werden. Zur Erhaltung des Gleichgewichts werden die einzelnen Kammern nach einander leer geschöpft, und sie heben dann das Schiff um 6 und mehrere Fufs in die Höhe [1]). Sinkende Schiffe werden oft durch die leeren Wassertonnen schwimmend erhalten, wenn man diese, mit dem Spuntloche nach unten gekehrt, festnagelt.

Fast alle Thiere sind specifisch leichter als das Wasser, und schwimmen leichter als der Mensch. Dieser ist im Mittel etwas Weniges specif. schwerer, als das Wasser, und sein Schwimmen ist ein künstliches, mechanisches Schwimmen. Ausnahmen machen sehr corpulente Personen, als Paolo Moccia, ein Neapolitanischer Mönch, welcher 300 Neapol ℔ schwer, um 30 ℔ leichter gewesen seyn soll, als ein gleiches Volumen Wasser. Hiernach wird ein jeder Mensch von mittlerer Leibesbeschaffenheit im Wasser untergehen. Rücksichtlich seines specif. Gewichtes kommt aber hauptsächlich in Betrachtung, dafs dieses veränderlich seyn mufs, je nachdem Bauch und Brust durch Luft mehr oder weniger ausgedehnt sind, weswegen versunkene Leichen nach entstandener Fäulnifs und Gas-Entwickelung in die Höhe kommen. Weil ferner jeder Körper im Wasser nur mit seinem relativen Gewichte niedersinkt, dabei aber vorausgesetzt wird, dafs er ganz im Wasser untergetaucht werde, um statisch zu schwimmen, und dieses bei lebenden Wesen wegen der Respiration nicht geschehen kann, so folgt hieraus, dafs alle Thiere wegen der Lage ihrer Athmungsorgane leichter schwimmen, als der Mensch, und lezterer leichter auf dem Rücken, als auf dem Bauche. Das statische Uebergewicht des Menschen (und einiger Thiere) mufs also durch einen Stofs der Hände und Füfse gegen das Wasser, und dadurch erzeugte Reaction des lezteren ersetzt werden, wenn das Schwimmen möglich seyn soll, welches sonach ein mechanisches ist. Am auffallendsten zeigt sich dieses beim sogenannten Wassertreten, wenn sehr geübte Schwimmer sich dadurch bis an die Brust im Wasser aufrecht erhalten, dafs sie in schnellem Wechsel die Füfse anziehen und heftig damit gegen das Wasser stofsen [2]).

---

[1]) Leslie Elem. p. 318.

[2]) Borelli de motu animalium p. 219 seqq. Oronzio de Bernardi l'uomo galleggiante. Neap. 1794. Bachstrom l'Art de nager. Amst.

§. 43.

Wegen des angegebenen statischen Verhaltens der Flüssigkeiten überhaupt, und weil man insbesondere das Wasser ganz rein sowohl leicht, als in Menge erhalten kann, hat man dasselbe bei der Bestimmung des specifischen Gewichtes aller Körper als Einheit angenommen, um vermittelst der hydrostatischen Waage oder der Aräometer das specifische Gewicht der flüssigen und festen Körper zu bestimmen.

Die vorzüglichsten Werkzeuge, deren man sich zur Bestimmung des specif. Gewichtes bedient, sind

1) die hydrostatische Waage. Sie unterscheidet sich von der gewöhnlichen durch eine Vorrichtung zum Höherstellen, desgleichen durch kleine Haken an den Waagschalen zum Aufhängen der Körper, und ist meistens mit einem hydrostatischen Apparate verbunden. Diese Waagen geben die genauesten Resultate, sind aber kostbar und mühsam zu behandeln [1]. Es sind verschiedene Vorschläge zu ihrer Construction gemacht, allein die gemeinen, hinlänglich empfindlichen, Waagen bleiben immer noch die besten, und werden namentlich durch Adie's hydrostatische Schnellwaage nicht übertroffen [2].

2) Hombergs Aräometer besteht aus einem kleinen, bauchigen, vor der Lampe sehr dünn geblasenen, Gläschen, von etwa 1 Z. im Durchmesser, oben mit zwei sehr feinen, einige Linien langen Röhrchen, deren eins in einen kleinen Trichter endigend, zum Eingießen der Flüssigkeiten, das andere zum Entweichen der Luft dient. Das Totalgewicht dieses Gläschens, wenn es tarirt und mit destillirtem Wasser gefüllt ist, wird in 1000 Theile getheilt, und nachdem es dann völlig gereinigt, getrocknet und bis zur nämlichen Höhe mit der zu bestimmenden Flüssigkeit gefüllt ist, welches allerdings einige Sorgfalt und Uebung erfordert, so

---

1741. 8. Deutsch: Die Kunst zu schwimmen. Berlin 1742. Thevenot l'Art de nager cet. Par. 1697. 12. Nouv. edit 1782. Adolfo Corti l'Arte del Nuoto teorico-pratica. Venez. 1819. 8. Oronzio de Bernardi's vollständiger Lehrbegriff der Schwimmkunst u. s. w. Aus dem Ital. übersetzt und mit Anmerk. begleitet von Fr. Kries. Weimar 1797. 8.

[1]) S. Brander Beschreib. einer neuen hydrost. Waage. Augsb. 1781. 8.

[2]) S. Schweigger Journ. N. F. V. p. 63.

giebt das absolute Gewicht derselben, in den nämlichen Gewichtstheilchen ausgedrückt, ihr specifisches Gewicht unmittelbar [1]). In dieser ursprünglichen Gestalt giebt das Instrument die genauesten Resultate. Es sind indefs sehr viele Vorschläge zu seiner Verbesserung und praktischen Anwendung geschehen, z. B. von Ramsden [2]), Hassenfratz [3]), v. Arnim [4]), Wagenmann [5]), Parrot [6]), Schmeisser [7]) u a. Meissner [8]) empfiehlt ein gröfseres Glas, welches mit einer in der Mitte fein durchbohrten Glasplatte bedeckt seyn soll, und nennt dieses Pyknometer. Am meisten in Gebrauch sind die zum Abwiegen bestimmten Gläser, welche etwa zwei Unzen halten und mit einem gläsernen Stöpsel verstopft werden, damit sie allezeit die nämliche Menge Flüssigkeit enthalten. Solche empfiehlt Descroizilles unter dem Namen Aréomètritype, Leutmann [9]) und Fischer [10]). Es ist indefs einleuchtend, dafs sie die Feinheit der Homberg'schen nicht erreichen.

3) Eines der wohlfeilsten und genauesten Werkzeuge Fig. 26.] ist die Senkwaage, welche Tralles [11]) angegeben hat. Sie besteht aus einem länglichten Sphäroide von dünnem Glase a, mit einem massiven feinen Stiele von Glas c, an dessen Spitze ein horizontales Stäbchen defg von Messing gekittet, in einer Länge von etwa 2 Zoll lothrecht herab, und dann nach etwa 4 Zoll Länge mit der ersten Richtung parallel rechtwinklich gebogen wird. Senkt man den Glaskörper in ein Glas mit Wasser, hängt an das untere freie Ende des Messingstabes eine kleine Waagschale m und beschwert diese mit den erforderlichen Gewichten, so sinkt der Glaskörper frei schwebend bis an ein Knöpfchen an seinem Stiele ein, und wird dann das Totalgewicht des

---

1) Mém. de l'Acad. 1690. p. 44.

2) Phil. Trans. LXXX.

3) Ann. de Chim. Par. an. VI. p. 188.

4) Gilb. Ann. I. 22.

5) Hermstaedt Bullet. 1810. VI. I. p. 22. Journ. de Fabr. 1811. Hft. 2. Ann. des arts et des manuf. cab. 122.

6) Handb. d. theor. Phys. I. 301.

7) Lichtenb. Mag. IX. 97.

8) Die Aräometrie in ihrer Anwend. auf Chemie und Technik. Wien 1816. Fol. p. 47.

9) Com. Pet. V. Jahr 1730—31.

10) Lehrb. d. Physik. Berl. 1819. I. p. 62.

11) Berl. Denkschr. 1801—11. p. 65. Gilb. Ann. XXX. 381. XXXVIII. 101.

ganzen Apparates = 1000 angenommen, und werden hiernach die erforderlichen Gewichttheilchen verfertigt, so findet man aus der Menge solcher in die Waagschale gelegten Gewichttheilchen, durch welche das Einsinken in eine zu untersuchende Flüssigkeit bis an das Knöpfchen bewirkt wird, das spec. Gew der lezteren unmittelbar. Wöge z. B. der Apparat 600 Gewichttheilchen, wonach im Wasser 400 derselben in die Waagschale gelegt werden müfsten, und Weingeist erforderte nur 200 Theilchen zuzulegen, so wäre dessen spec. Gew. = 800; erforderte dagegen Schwefelsäure noch 1200 zuzulegen, so wäre ihr spec. Gew. = 1800. Da nach der Construction der Schwerpunct des Apparates stets unter den Schwerpunct der verdrängten Flüssigkeit fällt (§. 42), so kann derselbe nicht umschlagen, und dient also zum Abwägen der schwersten, wie der leichtesten Flüssigkeiten, auch geben bei nicht zu kleinem Mafsstabe des Glaskörpers und hinlänglicher Feinheit des Glasstäbchens Zehntausendstel des Totalgewichts noch einen mefsbaren Ausschlag, und bis so weit kann also genau gewogen werden. Dieses Aräometer, eben wie die beiden folgenden, gehört unter die Aräometer mit Gewichten, welche Guyton [1]) Gravimetres zu nennen vorgeschlagen hat.

4) Fahrenheit's Aräometer kommt dem beschriebenen am nächsten, und ist in der von G. G. Schmidt [2]) vorgeschlagenen Gestalt ein sehr brauchbarer Apparat [3]). Dieses besteht aus einem länglichten hohlen Glaskörper A, Fig. 27.} oben mit einem feinen Glasstiele c, welcher ein kleines Schälchen d trägt, um die zum Einsinken bis an das kleine Knöpfchen c erforderlichen Gewichttheilchen aufzunehmen. Unten wird an einen Haken für die leichteren Flüssigkeiten ein kleineres Gefäfs mit Quecksilber m, für die schwereren ein gröfseres angehängt, so dafs der ganze Apparat mit jenem 700, mit diesem 1200 Gewichttheilchen wiegt. Werden dann bei reinem Wasser zu jenem schon gegebenen Gewichte noch 300 Gewichttheilchen zugelegt, so sinkt der Apparat bis an das Knöpfchen bei c ein, und giebt das spec. Gew. des Wassers als Einheit mit 1 oder 1000. Auf welche Weise und bis zu welchem Grade der Genauigkeit auch mit diesem Apparate die spec. Gewichte anderer Flüssigkeiten gewogen werden, ergiebt sich von selbst.

---

1) Ann. de Chim. XXI. 7. Gren N. Journ. IV. 370.

2) Phil. Trans. XXXIII. 140.

3) Gren Journ. VII. 186.

Beide beschriebene Werkzeuge stehen dem Homberg'schen nur in so fern nach, als sie eine etwas große Menge Flüssigkeit zu den Versuchen erfordern.

5) Nicholson [1]) hat ein Aräometer angegeben, welches Hauy [2]) zur Bestimmung des spec. Gewichts kleiner Stücke von Fossilien empfiehlt, wozu es auch vorzugsweise geeignet ist. [Fig. 27] Ein cylindrischer hohler Körper A von Messingblech, Silberblech, oder am besten von Glas, trägt unten ein durchlöchertes Eimerchen e an einem Bügel, oben ein Stäbchen c als Stütze eines Schälchens d. Wollte man dieses Aräometer zur Bestimmung des spec. Gewichtes der Flüssigkeiten gebrauchen, in welchem Falle es bei geforderter Allgemeinheit des Gebrauches nicht von Metall seyn dürfte, so müſste man das Totalgewicht desselben suchen, wenn es so stark im Schälchen belastet ist, daſs es bis an das Knöpfchen bei c einsinkt. Indem dieses aber nicht vorausgesetzt wird, so beschreibe ich bloſs das Verfahren bei der Bestimmung des spec. Gew. der festen Körper. Zu diesem Ende legt man so lange willkührliche Gewichte in das Schälchen d, bis der Apparat mit dem Knöpfchen c den Wasserspiegel berührt, hält es fest, legt den zu wiegenden Körper in das Schälchen und nimmt so viele Gewichttheile heraus, bis es den vorigen Stand wieder erreicht hat, so erhält man hierdurch das absolute Gewicht des Körpers. Hiernächst bringt man denselben vom Schälchen d in den kleinen Eimer e, damit er hier mit einem Gewichte getragen werde, welches einem dem seinigen gleiches Volumen Wasser wiegt, und da dieses gefunden wird, indem man den vorigen Stand des Aräometers durch Auflegen von Gewichttheilchen in die Schale d wieder herstellt, so hat man hierdurch die beiden in der Folge weiter zu betrachtenden Bedingungen zur Bestimmung seines spec. Gew.

6) Die geringste Genauigkeit geben die Aräometer mit festen Scalen, welche von den etwas genaueren bis zu den gemeinsten Salzspindeln, Bier- und Brandeweinwaagen in groſser Menge gebraucht werden. Einige der bekanntesten sind von Musschenbroeck [3]), von Beaume [4]), von

---

[1]) Manchester Mem. 1787. II.

[2]) Traité de Mineralogie. Par. 1801. I. 210. Gren Journ. V. 502.

[3]) S. Introd. II. 1384.

[4]) Mém. de l'Acad. 1768. p. 435.

Brisson [1]), Benteley [2]), Cartier u. Barré d'Orleans [3]), Guyton [4]), Lavigné [5]), Richter [6]), Atkins [7]), Meifsner [8]) u. v. a.

Sie bestehen im Allgemeinen aus einer cylindrischen Glasröhre, welche oben zugeschmolzen, unten aber mit einem birnförmigen, am tiefsten Orte in eine mit Quecksilber gefüllte Kugel endigenden, Gefäfse versehen ist. Indem hiernach der Schwerpunct derselben wegen des grofsen spec. Gew. des Quecksilbers tief herabfällt, der Schwerpunct des verdrängten Wassers aber wegen der oberen bauchigen Erweiterung des unteren hohlen Glaskörpers höher zu liegen kommt, so werden sie der etwa 6 Zoll aus dem Wasser hervorragenden Glasröhre ungeachtet nicht umschlagen (ihr Schwerpunct liegt unter dem Metacentrum §. 42). Dabei wird dann vorausgesetzt, dafs die Glasröhre vollkommen cylindrisch sey, damit man auf dieser, blofs nach der Länge, diejenigen Räume abmessen könne, um welche sie bei verminderter Dichtigkeit der zu prüfenden Flüssigkeit tiefer einsinken, indem sie durch das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit schwimmen, und das Volumen von dieser für ein gleiches Gewicht so viel gröfser seyn mufs, je specifisch leichter es ist, wobei eine in der Röhre befindliche papierne Skale diese zunehmenden Räume bezeichnet. Weil es aber schwer ist, genau cylindrische Röhren zu erhalten, so liegt schon hierin ein bedeutendes Hindernifs ihrer vollkommenen Richtigkeit.

Verschiedene der älteren Aräometer dieser Art, selbst die bekanntesten und so allgemein gebräuchlichen von Beaumé und alle von gemeinen Künstlern zum gewöhnlichen Verkaufe verfertigte, haben Skalen mit gleichen Abständen der einzelnen Theile, indem man voraussetzt, dafs bei einer z. B. in 100 Theile getheilten Skale die Flüssigkeit um so viele Hundertstel specifisch leichter sey, um wie viele solche gleiche Abtheilungen die Skale tiefer einsinkt. Allein

---

1) S. dict. d. ph. art. araeom.
2) S. Tromsd. J. d. Ph. VIII. 177. IX. 17.
3) J. d. ph. an. XII. p. 432.
4) S. ann. de chim. XXI. 3.
5) S. archiv. des dec. p. 271.
6) S. üb. d. neueren Gegenst. d. Chem. St. 5. S. 51. Bresl. 1795.
7) S. G. XXXVIII. 432.
8) S. dessen Aräometrie in ihrer Anwendung auf Chemie und Technik. 1 Th. Wien 1816. fol. S. 133.

schon Brisson [1], am vollständigsten G. G. Schmidt [2]) und neuerdings Delezennes [3]) zeigten, daſs diese Voraussetzung unstatthaft sey, und gaben Methoden zur richtigen Verzeichnung der Skalen an. Die ganze Sache läſst sich auf folgende Weise leicht übersehen. Sinkt ein Aräometer in eine gegebene Flüssigkeit bis an einen gegebenen Punct der Röhre ein, wir wollen annehmen bis an den Anfang derselben, so ist das Volumen des verdrängten Wassers = V, und das spec. Gew. der Flüssigkeit kann = 1 gesetzt werden. Wird dann die Flüssigkeit um ein Hundertstel specifisch leichter, so wird das Aräometer um 0,01 V. tiefer einsinken müssen, oder es wird ein Theil der Röhre einsinken, welcher den hundertsten Theil des zuerst unter Wasser befindlichen Volumens des Aräometers beträgt. Heiſst dieses Volumen = V′, und die Flüssigkeit wird abermals um ein Hundertstel leichter, so muſs das Aräometer um 0,01 V′ einsinken, und möge das gesammte eingesenkte Volumen = V″ heiſsen. Auf diese Weise erhält man die Merthe für V; V′; V″..... V^n. Weil aber 0 01 . V offenbar kleiner ist als 0,01 V′ u. s. w., so ergiebt sich hieraus, daſs die Skalentheile nach oben wachsen müssen, und gleiche Abtheilungen daher ganz unzulässig sind. Enthält eine Skale deren 100, deren jede einem Hundertstel des spec. Gewichtes zugehört, so ist die Länge der letzten = 2,7048..., wenn die der ersten = 1 ist, weil man von V (1 + 0,01) zu V $(1 + 0{,}01)^2$ bis zu V $(1 + 0{,}01)^{100}$ gelangt.

Erfahrene und genaue Künstler verfertigen die Aräometerskalen nach der angegebenen Regel, wozu namentlich G. G. Schmidt [4]) Anleitung gegeben hat, allein es läſst sich zugleich bald zeigen, daſs diese Werkzeuge keineswegs einen solchen Grad der Genauigkeit verstatten, als die oben beschriebenen. Es ist nämlich gezeigt, daſs man vermittelst der lezteren die spec. Gewichte der Flüssigkeiten mindestens von 700 bis 2000 finden kann. Da die Differenz dieser Gröſsen = 1300 ist, so müſste die Skale des Aräometers 1300 Grade haben, um für alle Flüssigkeiten mit gleicher Genauigkeit auszureichen, was sogleich als unmöglich auffällt. Wollte man sich aber auch mit dem zehnten Theile

---

1) Mém. de l'Acad. 1788. p. 683.

2) Gren. J. d. Phys. III. 117.

3) Journ. de Phys. XCIV. 204.

4) A. a. O. eine kürzere und sehr bequeme Methode findet man in dessen Hand- und Lehrbuche der Physik. Gieſsen 1826. p. 453.

der Genauigkeit, also mit 130 Skalentheilen behelfen, und den kleinsten hiervon = 0,5 Lin. annehmen, so würde der hundertste schon über 1,35 Lin. Länge erfordern, womit das Gleichgewicht des Schwimmens nicht bestehen kann, wie Delezennes durch genauere Rechnung gezeigt hat, und dennoch ist der Unterschied des Einsinkens von einer halben Linie wegen des Anhängens der Flüssigkeiten an die Wandungen der Glasröhre kaum mit genügender Schärfe meſsbar. Man muſs daher für die verschiedenen Flüssigkeiten mehrere Aräometer haben, und überhaupt sind dieselben eigentlich nur für praktische Zwecke bloſser Empiriker zu empfehlen, wobei sie dann dem jedesmaligen individuellen Bedürfnisse gemäſs einzurichten sind.

Der Ausdruck: specifisches Gewicht, im Gegensatze gegen absolutes, setzt an sich schon den Begriff eines Verhältnisses zwischen zwei oder mehreren gegebenen Körpern voraus. Zugleich geht von selbst hervor, daſs die Bestimmungen der spec. Gew. der Körper auf einer Vergleichung ihrer Gröſsen mit ihren Gewichten beruhet, weil man dadurch erfahren will, wie viele durch die Schwere gleichmäſsig afficirte Theile in einem gegebenen Raume enthalten sind, oder welches bei gegebenem Volumen derselben die Totalsumme ihrer schweren Theile ist. Nennt man hiernach die specifischen Gewichte zweier Körper P′ und p′; ihre absoluten P und p; ihre Volumiua V und v, so ist offenbar P′ : p′ = P : p und wiederum P′ : p′ = v : V, d. h. bei gleichem Volumen verhalten sich die spec. Gew. wie die absoluten, und bei gleichen absoluten Gewichten umgekehrt wie die Volumina, wonach also

$$P' : p' = \frac{P}{V} : \frac{p}{v}$$

die Hauptgleichung für diese Aufgabe ist. Hiernach soll also das spec. Gew. eines gegebenen Körpers aus der Vergleichung des Verhältnisses seines Volumens und absoluten Gewichtes mit dem Verhältnisse dieser Gröſsen bei einem andern Körper gefunden werden. Als diejenige Substanz, welche bei dieser Vergleichuug zur Einheit dient, und worauf sonach alle andere Körper bezogen werden, hat man das reine Wasser (destillirtes oder Regenwasser) angenommen; weil dieses aber durch Wärme ausgedehnt wird, also durch erhöhete Temperatur ein anderes Verhältniſs seines Volumens zu seinem absoluten Gewichte erhält, so muſs hierauf im Voraus Rücksicht genommen werden. Wäre die Ausdehnung

durch Wärme bei allen Körpern der des Wassers gleich, so würde die hieraus hervorgehende Correction wegfallen, allein die Erfahrung hat gezeigt, dafs dieses nicht der Fall ist, und diesemnach mufs die für jede einzelne Substanz hiernach erforderliche Correction aus den darüber aufgefundenen Gröfsen entnommen werden [1]).

Bei der Bestimmung des spec. Gewichtes fester Körper kommt die erstere der oben angegebenen Formeln in Anwendung, nämlich $P' : p' = P : p$, und da das specifische Gewicht des Wassers als Einheit angenommen wird, oder $p' = 1$ ist, so wird $P' = \frac{P}{p}$ gefunden; d. h. man suche das absolute Gewicht des festen Körpers und dividire dieses durch das absolute Gewicht eines gleichen Volumens Wasser (denn $V = v$ wird vorausgesetzt), so erhält man das spec. Gewicht. Die hierzu erforderliche Wägung wird bewerkstelligt vermittelst des Nicholsonschen Aräometers auf die bei der Beschreibung desselben angegebene Weise, oder vermittelst der hydrostatischen Waage. In lezterem Falle sucht man zuerst das absolute Gewicht des Körpers auf die gewöhnliche Weise, wobei jedoch blofs die Genauigkeit der angewandten Gewichttheilchen, aber aus leicht begreiflichen Gründen nicht ihre absolute Gröfse in Betrachtung kommt; alsdann hängt man den Körper vermittelst eines Pferdehaares, eines feinen Fadens oder Platindrahtes an dem Haken unter derjenigen Waagschale auf, worin er frei gewogen wurde, senkt ihn ganz in ein geeignetes Glas mit Wasser, in welchem er (§. 42) um so viel leichter wird, als das dem seinigen gleiche Volumen Wasser wiegt, welches er aus der Stelle treibt. Lezteres Gewicht $= p$ wird gefunden, indem man in die Waagschale, woraus der zu wägende Kärper genommen wurde, so viel Gewichttheilchen zulegt, bis das vorherige Gleichgewicht wieder hergestellt ist, und die Division der Gröfsen P durch p giebt dann das specifische Gewicht der Körper mit einer der gebrauchten Waage proportionalen Genauigkeit. In der Regel ist bei festen Körpern $\frac{P}{p}$ ein unächter Bruch, indefs sind verschiedene Körper specifisch leichter als das Wasser, und sie sinken daher nicht ganz unter die Oberfläche desselben, wonach daher das

---

[1]) Die erforderlichen Bestimmungen, namentlich über die Ausdehnung des Wassers, findet man §. 85.

durch sie verdrängte Volumen des Wassers kleiner ist, als das ihrige. Um diesem zu begegnen, bindet man im Voraus an den zum nachherigen Tragen des Körpers bestimmten Faden einen beliebigen schweren Körper, senkt diesen ins Wasser herab, tarirt die Waage ins Gleichgewicht, und nimmt dann erst die Wägung vor, wobei jener schwere Körper den an den Faden gebundenen leichteren völlig in das Wasser herabzieht.

Die auf solche Weise für die specifischen Gewichte erhaltenen Werthe kann man die uncorrigirten nennen, und so erhält man sie in der Regel mitgetheilt, mit einer hinzugefügten Angabe des zur Zeit der Wägung beobachteten Barometer- und Thermometerstandes, um die wesentlichen Correctionen erforderlichen Falls selbst zu suchen. Verlangt man blofs genäherte Werthe, so genügt die angegebene Methode, wenn die Wägung bei einer mittleren Temperatur von etwa 15° C. vorgenommen wurde, da ohnehin die Correction wegen des ungleichen Barometerstandes sehr unbedeutend ist, ja man hat bisher die gesammten Correctionen so wenig allgemein angewandt, dafs die bekannten Angaben der specifischen Gewichte in der Regel nur für solche genäherte Bestimmungen gelten können. Sucht man dagegen eine allerdings nach dem jetzigen Standpuncte der Wissenschaft wünschenswerthe Genauigkeit, so ist Folgendes zu berücksichtigen.

1) Bei der Wägung des Körpers im Wasser mufs man sorgfältig das so leicht stattfindende Anhängen kleiner Luftbläschen an denselben vermeiden, weil diese als kleine Schwimmblasen seinen Gewichtsverlust im Wasser bedeutend vermehren. Die Luftbläschen lassen sich oft nur mit Mühe vermittelst eines Drahtes, eines Glasstäbchens, einer Feder u. s. w. wegschaffen.

2) Minder wichtig ist der Einflufs des durch den tragenden Faden oder Draht verdrängten Wassers, wenn derselbe, wie billig, möglichst fein ist. Der Fehler läfst sich aber leicht vermeiden, wenn man die zur Aufnahme des Körpers bestimmte Drahtschlinge im Voraus so tief, als es später geschehen soll, in das Wasser herabhängen läfst, die Waage danach tarirt, und dann erst die Wägung vornimmt. Ein feiner Platindraht ist auf alle Fälle am besten.

3) Da sich das Wasser bedeutend durch Wärme ausdehnt, so dafs seine Dichtigkeit, und somit auch sein specifisches Gewicht sich von 10° C. bis 20° um 0,0015 ändert,

wenn man dasselbe im Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit = 1 annimmt, so kann die hieraus erwachsende Correction nicht füglich vernachlässigt werden, wenn man das spec. Gew. bis auf Tausendstel genau bestimmen will. Billig sollten alle Bestimmungen der specif. Gewichte auf den Punct der gröfsten Dichtigkeit des Wassers reducirt werden, oder man sollte sich nach Hällström's Vorschlage [1]) über eine mittlere Temperatur vereinigen, und bei dieser die Wägungen vornehmen. Weil aber die Ausdehnung des Wassers durch Wärme gegenwärtig mit grofser Genauigkeit ausgemittelt ist, so kann man das gefundene spec. Gewicht eines Körpers leicht auf den Punct seiner gröfsten Dichtigkeit, nämlich 3°, 78 C. reduciren, wenn man dasselbe mit der in §. 85. angegebenen Zahl multiplicirt, welche der Dichtigkeit des Wassers bei der Temperatur der Wägung zugehört. Wäre z. B. die Wägung bei 20° C. angestellt, so müfste der durch Anwendung der Formel $P' = \frac{P}{p}$ gefundene Werth mit 0,998248 multiplicirt werden.

4) Wird das absolute Gewicht des Körpers bestimmt, so sollte dieses billig im luftleeren Raume geschehen, und weil dieses nicht der Fall ist, so müfste eigentlich auch hierfür eine Correction angebracht werden, welche aber so geringe ist, dafs sie in allen Fällen vernachläfsigt werden kann, wo es nicht auf einen ganz vorzüglichen Grad der Genauigkeit ankommt. Das spec. Gew. der Luft gegen Wasser beträgt nämlich im Mittel 0,0012, und um so viel wird also das spec. Gewicht der Körper zu geringe gefunden werden, wenn man diese Correction vernachlässigt, so dafs man dasselbe ohne Weiteres nur um diese Gröfse vermehren kann. Bei ganz scharfer Rechnung müfste auch auf die Ausdehnung des Körpers selbst durch Wärme, und den Einflufs Rücksicht genommen werden, welchen diese auf die zur Bestimmung des spec. Gew. erforderlichen Gröfsen hat. Vernachlässigt man dieses, und heifst die Dichtigkeit der Luft gegen Wasser bei der Wägung = α; das Volumen des Wassers bei der Temperatur der Wägung = δ, so ist das corrigirte spec. Gew. $P' = \frac{P + \alpha p}{p \delta}$, welches in den meisten Fällen genügende Genauigkeit gewährt, wenn man

1) Gilb. Ann. d. Phys. XXXVI. p. 71.

auch α zur Vermeidung weitläufiger Rechnungen = 0,00125 setzt [1]).

5) Verschiedene Körper saugen im Wasser eine bedeutende Menge dieser Flüssigkeit ein, ihr Gewichtsverlust beim Wägen in demselben wird daher bedeutend geringer, als er seyn sollte, und ihr spec. Gew. hiernach zu grofs. Es läfst sich im Allgemeinen annehmen, dafs das spec. Gew. solcher Körper überhaupt schwer oder gar nicht bestimmbar ist, weil es beim Wägen auch auf den Grad ihrer Trocknifs ankommt. Die einfachste, hiernach zu ertheilende, Vorschrift ist, dafs man ihr absolutes Gewicht bei einem mittleren Grade ihrer Trockenheit sucht, und sie dann, wenn sie im Wasser weder zerfallen, noch auch ausgedehnt werden, so lange im Wasser eingetaucht erhält, bis sie sich damit ganz vollgesogen haben, alsdann aber ihren Gewichtsverlust in demselben sucht, um hiernach $P' = \frac{P}{p}$ zu finden.

6) Dieses führt auf eine bei der Bestimmung des spec. Gew. der Körper überhaupt zu erörternde nicht unwichtige Frage, nämlich in welchem Zustande sollen sich die Körper hierbei befinden? Viele Körper haben nämlich ein weit geringeres spec. Gew. als das Wasser, so lange sie trocken und in gröfseren Massen vorhanden sind, zeigen aber ein bedeutend gröfseres, wenn sie sehr nafs oder in Pulverform gewogen werden, wie man namentlich wahrnimmt, wenn man Hölzer anwendet, welche lange im Wasser gelegen haben, oder welche einem grofsen Wasserdrucke ausgesetzt waren. Es läfst sich wohl nicht anders entscheiden, als dafs man für gewöhnliche Zwecke das spec. Gew. dieser Körper in demjenigen Zustande derselben bestimmen müsse, in welchem sie am häufigsten vorkommen, worüber dann keine weitere Vorschrift erforderlich ist, wie dieses auch aus den bekannten Angaben der spec. Gewichte hervorgeht. Für wissenschaftliche Zwecke ist es aber sehr wichtig, das spec. Gew. ihrer Bestandtheile aufzufinden, und sie daher in Pulverform zu wägen, um so mehr, als die gemeine Erfahrung lehrt, dafs Sägemehl, feiner Feilstaub von Kork und sogar der aus der Luft niederfallende Staub im Wasser niedersinkt.

Zur Bestimmung des spec. Gew. der Pulver hat Say [2]) unlängst ein sehr brauchbares Werkzeug angegeben, und

---

[1]) Ausführlich ist dieser Gegenstand behandelt in Gehler's phys. Wört. IV. p. 1513, Art. Gewicht, spec., worauf ich verweise.

[2]) Ann. de Chim. XXIII. 1. Gilb. Ann. I. 230.

Fig. 29.] Stereometer genannt. Dasselbe besteht aus einem Gefäfse A, welches oben abgeschliffen ist und vermittelst etwas Pomade durch die Glasplatte a b luftdicht verschlossen werden kann. Die genau cylindrische und in gleiche Theile getheilte Röhre c d, oben bei α durch ein feines Sieb verschlossen, wird in das Gefäfs mit Quecksilber m n o p eingesenkt, bis lezteres das Siebchen berührt. Ist dann das Gefäfs A verschlossen, und man hebt den Apparat aus dem Quecksilber in die Höhe, so wird sich die Luft in die Röhre c d ausdehnen, und einen so viel gröfseren Raum darin einnehmen, je gröfser ihr Volumen bei gleicher, durch die Quecksilberhöhe in c d bestimmbare, Dichtigkeit ist. Unter Voraussetzung gleichbleibender Barometer- und Thermometerstände hebt man daher das Gefäfs in die Höhe, bis das Quecksilber n Theile der Skale, worin c d getheilt ist, über dem Spiegel in der Röhre m n o p einnimmt, und es reiche dasselbe bis x. Alsdann werde der Apparat wiederum bis c eingesenkt, oben geöffnet, das zu wägende Pulver hineingeschüttet, und nach abermaligem luftdichten Verschliefsen und Emporheben stehe das Quecksilber nur bis y, wenn es gleichfalls n Theile der Skale in der Röhre c d über seinem Spiegel in m n o p einnimmt. Hierbei ist die Dichtigkeit der Luft in beiden Fällen gleich, und diesem nach sind die Räume, worin sie sich ausdehnt, den ausgedehnten Massen proportional. Heifst also der Inhalt des leeren Gefäfses = I; das Volumen des eingeschütteten Pulvers = v; der Raum c x = a; c y = b, so ist

$$I : I - v = a : b \text{ also } v = I\left(1 - \frac{b}{a}\right).$$

Wenn demnach I ein für allemale genau bestimmt ist, und man findet das Volumen = v des gewogenen Pulvers, bestimmt dessen absolutes Gewicht = P und dividirt dieses durch das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser = p, so ist das spec. Gew. $P' = \frac{P}{p}$ gegeben. Leslie [1]) hat dieses nämliche Instrument später in Vorschlag gebracht, und sehr interessante Resultate erhalten. Er fand nämlich das spec. Gewicht der Holzkohle gröfser als des Diamants, des Waizenmehls = 1,56; des Mahagoni-Holzes = 1,68 u. s. w.

Sind Körper im Wasser auflöslich, so wiegt man sie in anderen Flüssigkeiten, und corrigirt das so gefundene rela-

1) Ann. of Phil. Nro. LXIV. p. 313.

tive Gewicht durch Multiplication mit dem Dichtigkeits Quotienten beider Flüssigkeiten [1]). Hierbei ist indefs grofse Vorsicht nöthig, weil der Erfahrung nach dennoch leicht ein geringer Theil aufgelöset wird [2]). Das eben beschriebene Stereometer ist in den meisten Fällen ungleich sicherer anwendbar.

Um das spec. Gew. einer Flüssigkeit zu finden, wäge man irgend einen hierzu geeigneten Körper im Wasser, dann in der Flüssigkeit. Der Gewichtsverlust des ersteren in lezteres dividirt giebt $P' = \frac{P}{p}$. Für diesen Zweck findet sich bei den hydrostatischen Waagen in der Regel ein kleiner birnförmiger Körper von Glas, welcher an einem feinen Platindrahte hängend tarirt, dann zuerst in Wasser gesenkt wird, und hierauf nach sorgfältigem Abtrocknen in die zu wägende Flüssigkeit, um durch Zulegen der zur Herstellung des Gleichgewichts erforderlichen Gewichttheilchen im ersten Falle p im zweiten P zu finden. Hierbei ist aus leicht begreiflichen Gründen keine Correction wegen des aerostatischen Einflusses auf das absolute Gewicht des Glaskörpers beim Tariren desselben erforderlich, weil dasselbe gar nicht gesucht wird; rücksichtlich der Ausdehnung beider Flüssigkeiten durch Wärme aber ist die hieraus erwachsende Correction oft noch wesentlicher, als bei der Bestimmung des spec. Gew. fester Körper. Will man dieselbe anwenden, und heifst das Volumen der durch Wärme ausgedehnten Flüssigkeit $= \delta'$; des Wassers $= \delta$, so ist das corrigirte spec. Gew. $P' = \frac{P\,\delta'}{p\,\delta}$, woraus folgt, dafs die Correction überflüssig seyn würde, wenn die Ausdehnung beider gleich wäre, welches aber heineswegs der Fall ist. Leider ist der Werth von δ' bis jezt bei den wenigsten Flüssigkeiten ausgemittelt.

In den wenigsten Fällen bedient man sich der hydrostatischen Waage zur Bestimmung des spec. Gew. der Flüssigkeiten, sondern meistens der oben beschriebenen Aräometer oder Gravimeter, bei deren Beschreibung zugleich die Art des Verfahrens für jedes derselben angegeben ist. In Beziehung auf die Correction wegen der Ausdehnung durch die Temperatur sind das Hombergsche und Fahrenheitsche

[1]) Vergl. Tralles bei G. XXVII. 261.

[2]) Hassenfratz in Ann. de Chim. XXVIII. 1. ff.

Aräometer und die Senkwaage von Tralles meistens so abgerichtet, dafs das Normalgewicht des Wassers bei einer mittleren Temperatur von etwa 12° R. oder 15° C. bestimmt ist, und man erwartet dann, dafs die folgenden Wägungen bei eben derselben vorgenommen werden. Da in nicht grofser Entfernung vom Gefrierpuncte des Wassers die Ausdehnungen der verschiedenen Flüssigkeiten nicht sehr viel von einander verschieden sind, und bei völliger Gleichheit gar keine Correction erforderlich wäre, so genügt jenes Verfahren für genäherte Genauigkeit; sind aber die Ausdehnungen der gewogenen Flüssigkeiten bekannt, so kann das gefundene Resultat hiernach auf eben die Weise corrigirt werden, als so eben für die Wägungen mit der hydrostatischen Waage angegeben ist.

Bei allen bisher mitgetheilten Vorschriften zur Bestimmung des spec. Gew. ist auf die Ausdehnung der festen Körper, namentlich des Glases bei der Abwägung der Flüssigkeiten keine Rücksicht genommen. Für absolute Genauigkeit wäre auch dieses nothwendig, allein die daraus erwachsende Correction ist so unbedeutend, dafs sie in gewöhnlichen Fällen füglich vernachlässigt werden kann.

Für Technologie und Oeconomie sind einfache, haltbare und leicht empirisch zu behandelnde Werkzeuge am meisten zu empfehlen, und als Temperatur diejenige, welche im Sommer mäfsig warme, im Winter aber geheitzte Wohnzimmer geben, welche also zwischen 20° bis 25° C. anzunehmen ist. Bei den Salz-, Alaun-, Vitriol-Siedereien u. s. w., den Brandeweinbrennereien und anderen Gewerben kommt meistens für den praktischen Arbeiter nur eine gewisse Normalbestimmung in Anwendung, welche durch Wägung eines schicklich ausgewählten Gefäfses oder durch Einsenkung einer pafslich eingerichteten Spindel leicht zu erhalten ist. Flüssigkeiten endlich, deren Güte von verschiedenen Substanzen abhängt, deren einige das spec. Gew. vermehren, andere vermindern, als Bier, Wein u. s. w, können vermittelst des Aräometers rücksichtlich ihres Werthes überall nicht genau geprüft werden.

Die Bestimmung des spec. Gewichtes expansibler oder elastisch flüssiger Körper endlich wird auf gleiche Weise erhalten, als die der tropfbar flüssigen, indem man einen nicht zu kleinen Ballon von dünnem Glase erst luftleer und dann mit Luft angefüllt genau wiegt, hiernächst mit Wasser füllt und abermals sein Gewicht bestimmt. Der Unterschied

der ersten und zweiten Wägung giebt das absolute Gewicht des Volumens Luft = P, der zweiten und dritten Wägung das des gleichen Volumens Wasser = p, wonach also $P' = \frac{P}{p}$ erhalten wird. Bei der großen Leichtigkeit der Luft- und Gasarten sind solche Wägungen sehr schwierig, erfordern die Anwendung vielfacher Correctionen, sowohl der bisher erwähnten, als auch derjenigen, welche aus dem Feuchtigkeitszustande der gewogenen und der umgebenden Luft hervorgehen, und können daher nur von geübten Physikern angestellt werden. Biot und Arago haben durch eine schätzbare Reihe der genauesten Versuche das spec. Gew. der trockenen atmosphärischen Luft unter 28 par. Z. Barometerdruck im Niveau des Meeres und unter dem 45sten Grade der Breite bei 0° Temperatur gegen Wasser im Puncte der größten Dichtigkeit = 0,00129535 gefunden [1]. Bei der Bestimmung des spec. Gew. der übrigen Gasarten nimmt man meistens die atmosphärische Luft als Einheit an; soll aber das hiernach angegebene spec. Gewicht derselben gegen Wasser als Einheit ausgedrückt werden, so darf man nur die für die Gasart gefundene Zahl mit der so eben mitgetheilten multipliciren. Z. B. das spec. Gew. des Wasserstoffgas gegen Luft ist 0,0688; dieses mit jener Zahl multiplicirt, giebt sein spec. Gew. gegen Wasser = 0,0000798328. Die folgende Tabelle enthält die Bestimmungen der spec. Gewichte von den am meisten vorkommenden Körpern.

Gasarten.		*Gasarten.*	
Atmosphär. Luft .	1,0000	Kohlenoxyd-Gas .	0,9722
Sauerstoffgas . .	1,1026	Kohlen-Wasserst.-G.	0,5555
Stickgas	0,9691	Schwefel-Wasserst.-Gas	1,1805
Wasserstoffgas . .	0,0688	Phosphor Wasserst.-Gas	0,9722
Chlor	2,4700	Cyan	1,8055
Stickstoffoxydul .	1,5277	Schwefels. Gas . .	2,2222
Stickstoffoxyd . .	1,0416	Flußsaures Gas .	2,3694
Salpetrigsaures Gas	3,1764	Arsenik - Wasserst.-Gas	0,5290
Ammoniakgas . .	0,5902		
Salzsaures G. . .	1,2747		
Hydriods. Gas . .	4,3750		
Kohlens. Gas . .	1,5240		

---

[1] S. Biot Traité de Phys. I. 314.

Flüssigkeiten.

Alkohol	0,7920
Ameisensäure	1,1168
Ammoniak	0,8750
Anisöl	0,9857
Bergamottöl	0,8880
Bier	1,0230 — 1,0340
Blausäure	0,7050
Blutwasser	1,0250 — 1,0310
Boraxsäure	1,7770
Bucheckernöl	0,9230
Cajaputöl	0,9780
Calmusöl	0,8990
Cascarillenöl	0,9380
Citronenöl	0,8517
Delphinöl	0,9178
Erdöl	0,7500 — 0,8400
Essigäther	0,8660
Essigsäure	1,0791
Fenchelöl	0,9970
Harn	1,0110
Honig	1,4500
Krausemünzöl	0,9750
Lavendelöl	0,8930
Leinöl	0,9400
Mandelöl	0,9200
Milch	1,0200 — 1,0410
Mohnöl	0,9220
Muscatnufsöl	0,9480
Nelkenöl	1,0340
Nufsöl	0,9470
Olivenöl	0,9153
Petroleum	0,8360 — 0,7580

Flüssigkeiten.

Pfeffermünzöl	0,9200
Pomeranzenschalenöl	0,8880
Ricinusöl	0,9699
Rosenöl	0,8320
Rosmarinöl	0,8886
Rüböl	0,9193
Salpeternaphtha	0,8000
Salpetersäure	1,5130
Salzäther	0,8740
Salzsäure, höchstens	1,2109
Salveiöl	0,8640
Sassafrasöl	1,0940
Schwefeläther	0,758
Schwefelkohlenstoff	1,2720
Schwefelsäure Nordh.	1,8960
Seewasser	1,0286
Spiköl	0,8770
Therpentinöl	0,7920
Thran	0,9270
Vitriolöl	1,8450
Wacholderöl	0,9110
Weinsteinöl	1,5400
Zimmetöl	1,0350
Weine. Rhein.	0,9925 - 1,0020
— Franz. weifs.	1,0200
— Burgunder	0,9920
— Bourdeaux	0,9940
— Champagner	0,9620
— Portwein	0,9970
— Capwein	1,0210
— Malaga	1,0150
— Madeira	1,0380

Feste Körper.

Achat	2,590
Ahornholz	0,750
Alabaster	2,700
Alaun	1,714
Anthracit	1,480
Antimon	6,702
Apfelbaumholz	0,793

Feste Körper.

Arsenik	5,760
Arseniksäure	3,698
Asbest	0,908 — 2,444
Asphalt	1,160
Auripigment (Rauschgelb)	3,480
Balsam, peruv.	1,150

Feste Körper.

Baryt	3,30—4,800
Basalt	2,722—2,864
Bausteine	2,500
Benzoe	1,063
Bergkrystall	2,685—2,880
Bergtheer	1,130
Bernstein	1,065—1,085
Bimsstein	0,914—1,647
Birnbaumholz	0,661
Bittersalz	1,750
Blasenstein (menschl.)	1,700
Blei	11,352—11,445
Bleizucker	2,395
Blutkuchen	1,126
Bolus	1,90—2,050
Borax	1,720
Brasilienholz	1,031
Braunkohle	1,280
Buchenholz	0,852
Buchsbaum	0,912—1,031
Butter	0,942
Cacaobutter	0,892
Campecheholz	0,913
Campher	0,986
Caoutchouc	0,934
Carniol	2,620
Cedernholz	0,596—1,315
Chalcedon	2,207—2,691
Chrom	5,900
Chrysoberyll	3,750
Chrysolith	3,34—3,440
Citronenholz	0,726
Citronensäure	1,617
Cocusbaumholz	0,726
Copal	1,069—1,139
Cypressenholz	0,644
Diamant	3,40—3,600
Drachenblut	1,196
Ebenholz	1,209—1,331
Eibenbaumholz	0,788
Eichenkernholz	1,170
Eis	0,950
Eisen, geschm.	7,788

Feste Körper.

Eisen, gegossen	7,251
Eisenvitriol	1,970
Elemi	1,083
Elfenbein	1,825—1,917
Erdpech	0,902
Erlenholz	0,66—0,68
Eschenstammholz	0,845
Feldspath	1,841—2,717
Fernambuckholz	1,014
Fett, Ochsen	0,923
— Schweine	0,937
— Hammel	0,924
— Kalbs	0,934
Feuerstein	2,594
Fliederh., spanisches	0,770
Flufsspath	3,094
Franzosenholz	1,333
Galmei	3,380
Glas, grünes	2,642
— engl. Spieg.	2,450
— Krystall	2,892—3,000
— Flint. engl.	3,373—3,442
— — franz.	3,158—3,200
— — Körners	3,341
— — Fraunhofers	3,779
Glimmer	2,654—2,935
Gold, gedieg.	13,00—18,000
— gegossen	19,258
— gehämmert	19,361
Granat, edler	3,839—4,230
Granatbaum	1,354
Granit, ägypt.	2,654
— gemeiner	2,538—2,956
Graphit	2,80—2,100
Griesholz	1,200
Gummi, arab.	1,452
— guttae	1,482
— laccae	1,139
Gyps	1,875—2,964
Harz d. Fichten	1,073
Haselnufsholz	0,600
Holunderbaum	0,695
Holzkohle	0,280—0,440

Feste Körper.	
Hühnereier . . .	1,090
Hyazinth . .	4,35—4,680
Jaspis . .	2,358—2,764
Jndigo	0,769
Jod	4,948
Kadmium, gegoss. .	8.604
— gehäm. . . .	8,694
Kalium	0,865
Kalk, gebrannter .	1,842
Kalkstein .	2,456—2,720
Kirschbaumholz . .	0,715
Kleesäure	1,507
Knochen (Ochsen)	1,656
Kobalt, gegoss. . .	7,811
— gestreckt. . .	9,152
Kochsalz .	2,170—2,300
Korallen . . . :	2,690
Korkholz	0,240
Kreide . .	2,252—2,675
Kupfer, gegoss.. .	8,788
— gehämm. .	9,000
— Draht . .	8,878
— japanisch .	8,434
Kupfervitriol	2,19—2,300
Labrador . .	2,714—2,751
Lava . . .	2,795—2,823
Lazulith . .	3,024—3,039
Leberkies . . .	4,630
Limonienbaum . .	0,703
Lindenholz . . .	0,604
Lorbeerbaumh. .	0,822
Magneteisenstein .	5,090
Mahagoni . . .	1,063
Mangan	7,000
Manganoxyd . . .	4,328
Marmor. Campan. .	2,736
— Carar. . .	2,717
— Parisch. .	2,838
Mastixbaum . . .	0,849
Mastix	1,074
Maulbeerbaum . .	0,897
Meerschaum	1,27—1,600
Mennig	8,940

Feste Körper	
Mergel . .	2,40—2,600
Messing . .	7,80—8,400
Meteorstein .	3,55—3,600
Mispelbaum . . .	0,944
Molybdän .	7,50—8,600
Natrium	0,972
Nickel, gegoss. .	8,279
— gestreckt .	8,666
Olivenbaum . .	0,927
Onyx . . .	2,638—2,816
Opal . . .	1,70—2,114
Opium	1,336
Orangenbaum . .	0,705
Palladium .	11,3—11,800
— gehämm.	12,148
Pappelbaum . .	0,383
— weifs span.	0,529
Pech, weifses . .	1,072
Perlen, orient. .	2,684
— gemein. .	2,750
Pflaumbaum . .	0,785
Phosphor .	1,70—1,770
Platin, gegoss . .	20,855
— gehämm. ,	21,314
— geprägt. .	21,343
— Draht . .	19.267
Porphyr . .	2,7—2,800
Porzellan, Meifsen	2,493
— Wien	2,075—2,386
— China . .	2,385
— Berlin . .	2,293
— Sevres . .	2,146
Quarz	2,652
Quecksilber . .	13,597
Quittenbaum . .	0,705
Realgar	3,600
Rhodium . . .	11.000
Rubin., orient. . .	3,990
Salmiak . .	1,45—1,600
Salpeter	1,900
Sandarach . . .	1,050
Sandelholz, weifses	1,041
— rothes	1,128

Feste Körper.		*Feste Körper.*	
— gelbes	0,809	Topas . .	3,49—3,560
Sandstein .	2,2—2,500	Traganth . . .	1,316
Sapphir, orient.	4,29—4,830	Tripel . .	1,10—2,20
— brasil. . .	3,130	Türkis . .	2,86—3,000
Sassafrasholz . .	0,482	Turmalin .	3,00—3,300
Schiefspulver, gehäuft	0,836	Ulme (Stamm) . .	0,671
— geschüttelt	0,932	Uran	9,000
— gestampft .	1,745	Wachholder . .	0,556
Schwefel, Stange .	1,920	Wachs, gelbes . .	0,965
— krystall.	2,033	— weifses .	0,969
Schwefelkies . .	4,908	Walkererde .	1,5—2,000
Schwerspath	4,412—4,699	Wallnufsbaum . .	0,671
Schwimmstein	0,405—0,797	Wallrath . . .	0,942
Selen	4,310	Wallrofszahn . .	1,933
Serpentin .	2,43—2,669	Weiden	0,585
Silber, gegoss. .	10,414	Weihrauch . . .	1,221
— gehämm. .	10,622	Weinreben . . .	1,327
Smaragd .	2,678—2,775	Wismuth, gegoss.	8,716
Speckstein . . .	2,600	— gehämm.	9,822
Spinell . .	3,48—3,640	Wolfram	7,600
Stahl	7,795	Wootz	7,665
— gegoss. . .	7,919	Yttererde . . .	4,842
Steinkohlen	1,232—1,510	Zink, gegoss. . .	7,213
Steinsalz .	2,143—2,412	— gehämm. .	7,861
Strafs . .	3,50 —3,600	Zinkvitriol . . .	1,912
Strontium .	4,0 —5,000	Zinn, engl. gegoss. .	7,291
Talkerde . . .	2,359	— — gehämm.	7,799
Tanne, weifs . .	0,550	Zinnober . . .	8,090
— roth . .	0,408	Zirkon . .	4,0—4,700
Tellur . .	5,72—6,115	Zirkonerde . . .	4,300
Thon . . .	1,80—2,630	Zucker, weifs. .	1,606

§. 44.

Der hydrostatischen Wägungen bedient man sich vorzüglich auch zur Bestimmung des absoluten Gewichtes eines gewissen Volumens von Wasser, welches nachher wieder als normales Maafs sowohl für Flüssigkeiten als auch für die sogenannten halbflüssigen Körper dient. Die hierzu erforderlichen Operationen verlangen einen hohen Grad der Genauigkeit, und gehören zur

allgemeinen Regulirung der in den verschiedenen Ländern üblichen Maſse und Gewichte.

Den gesammten, in den verschiedenen Staaten gesetzlich eingeführten, oder durch Gawohnheit üblichen Maſsen und Gewichten liegt ursprünglich ein Längenmaſs zum Grunde, und sie sind mit gröſserer oder geringerer Genauigkeit bestimmt. Seit dem Wiederaufleben der Wissenschaften ist das älteste genau bestimmte Normal-Gewicht die Cölnische Mark, wovon ein Fundamental-Gewichtstück noch jetzt in Cöln vorhanden seyn soll. Ungleich umfassender ist die in Groſsbritannien unter der Königin Anna vorgenommene Regulirung der englischen Maſse; als die Grundlage aller jetzt üblichen genaueren Bestimmungen dieser Art ist jedoch die Toise von Peru zu betrachten, welche bei der durch Bouguer und Condamine im Jahre 1738 unter dem Aequator angestellten Gradmessung als Norm diente (§. 213) und noch gegenwärtig auf dem Observatorium in Paris aufbewahrt wird. Als nämlich seit dem Jahre 1792 die Franzosen dem möglichen Untergange aller Normal-Maſsstäbe dadurch zu begegnen suchten, daſs sie einen aliquoten Theil der ganzen Erde zum Grunde legten, und deswegen die früheren Gradmessungen vervollständigten, so nahmen sie den zehnmillionsten Theil eines Quadranten der ganzen Erde als Einheit an, nannten dieses Meter, und fanden, daſs dasselbe, selbst bei 0° C. genommen, 443,296 Duodec. Linien der Toise von Peru ausmachte, leztere bei 16,75 Cent. Graden der Temperatur; eine Bestimmung, welche nachher gesetzlich eingeführt wurde. Es wurden demnächst Körper, welche auf das Genaueste nach diesem Maſse gemacht waren, mit groſser Sorgfalt in reines Wasser gesenkt, der Gewichtsverlust gab das Gewicht eines gewissen kubischen Maſses Wasser, und hierdurch wurden die normalen Gewichte und Hohlmaſse für flüssige und halbflüssige Körper verfertigt. Auf diese normale Längenbestimmung wurden folgende französische Maſsbestimmungen gegründet [1]:

Altfranzösische, noch jetzt gebräuchliche und mit andern verglichene Maſse sind die Toise, welche in 6 Fuſs, der Fuſs, welcher in 12 Zoll; der Zoll, welcher in 12 Linien getheilt

[1] Manuel pratique et élémentaire des Poids et Mesures cet. par S. A. Tarbé. A. Paris. 1807. 12. Connaissance de tems. l'an. X. Vega über das natürliche Maſs-Gewicht- und Münz-System. Wien 1803. 8. Auch findet man diese Angaben in dem jährl. herauskommenden: Annuaire présenté au Roi par le Bureau des Longitudes, u. a. v. O.

wird. Bei den neufranzösischen macht das Mètre die Einheit, woraus Décamètre = 10 Met.; Kilomètre = 1000 Met. und Myriamètre = 10000 Meter, und durch zehntheilige Unterabtheilungen Décimètre = 0,1 Met.; Centimètre = 0,01 Met.; und Millimètre = 0,001 Met. gebildet sind. Werden beide mit einander verglichen, so ist 1 Toise = 1,94904 Met.; 1 Fuſs = 0,32484 Met.; 1 Zoll = 0,02707 Met.; 1 Linie = 0,002256 Meter. Umgekehrt ist 1 Met. = 0,513074 Tois. = 3 F. 0 Z. 11,296 Lin.; 1 Decim. = 3 Z. 8,3296 Lin.; 1 Centim. = 4,4330 Lin.; 1 Millim. = 0,4433 Linien.

Als Ländermaſse hatte man in Frankreich: la perche von 22 F. Seite, oder 484 Quad. F., und l'arpent von 100 perches oder 48400 Quadratfuſs. Nach dem neuen Systeme hat man are = 100 Quadratmeter, Centiare = 1 Quadratm., und Hectare = 10000 Quad. Met. Werden beide verglichen, so ist

Perche	= 584 Q. F.	=	13,44 Q. T	=	51,07 Q. Met.	
Arpent	= 48400	— =	1344,44	— =	5107,20	—
Are	= 947,7	— =	26,32	— =	100,00	—
Hectare	= 94769,2	— =	2632,45	— =	10000	—

Die übrigen altfranzösischen Maſse sind weniger gebräuchlich, die neuen dagegen sind: Für Flüssigkeiten ist das Litre, ein Cubikdecimeter Wasser im Puncte der gröſsten Dichtigkeit bei 4° C. angenommen, wozu Deciliter = 0,1 und Decaliter = 10 Liter kommen. Für trockne oder eigentlich halbflüssige Körper gilt das nämliche, und kommt noch hinzu das Hectoliter = 100, und das Kiloliter = 1000 Liter. Für starre Körper ist stère ein Cubikmeter und décistère der zehnte Theil hiervon. Die Gewicht-Einheit ist das Kilogramme, das Gewicht eines Cubik Decimeter Wasser bei 4° C. Temperatur, welches nach der Decimal-Eintheilung das Hectogramme = 0,1; das Decagramme = 0,01; das Gramme = 0,001; das Decigramme = 0,0001 Kilogramme ausmacht. Auſserdem machen 100 Kilogramme 1 Quintal, 1000 Kilogr. ein Millier oder eine Tonne aus; auch wird das gramme noch in Decigramme, Centigramme und Milligramme eingetheilt, und wiegt 1 Cub. Centimeter Wasser. Werden diese mit den altfranzösischen verglichen, so beträgt 1 Pfund = 0,4895 Kilogr.; 1 Unze = 30,59 Grammes, 1 Gros = 3,82 Grammes, 1 Grain = 0,053 Grammes, oder 53,11478 Millig. Ein Kilogramm dagegen = 2 ℔ 0 Unze 5 gros 35,15 Grains; ein Hectolitre = 0,641 Setiers, und 1 Setiers = 1,560 Hectolitre. Es hat nämlich das französische

Apotheker- und Handelsgewicht 16 Unsen oder 8 Mark, die Unze 8 Gros, das Gros 72 Grains.

Mit fast noch gröfserer Schärfe ist das englische Normalmafs und Gewicht durch Parlaments-Acte vom 17. Juni 1824 bestimmt, und werden die Normen unter Aufsicht des Parlamentes aufbewahrt. Hiernach ist Yard das bestimmte Längen- und Pound-Troy das Gewichts-Mafs [1]. Nach der Vergleichung mit dem französischen hält das Yard = 0,9143834 Meter; das Fathom beträgt 2 Yard; die Mille 880 Fathoms. Der Londoner Fufs ist $\frac{1}{3}$ des Yards, und wird nach Duodecimal-Eintheilung in 12 Zolle und der Zoll in 12 Linien getheilt. Ferner wiegt 1 Cub. Z. destillirtes Wasser in der Luft mit kupfernen Gewichten gewogen bei 62° F. = $16\frac{2}{3}$ Grade Cent. und 30 engl. Zolle Barometerstand 252,458 Grains Troy, und es ist 1 ℔ Troy = 12 Unzen; 1 Unze = 20 Pennywight; ein Pennyw. = 24 Grains. Nach Francoeur's Messungen wiegt ein engl. Cub. Z. Wasser bei jener Temperatur auf den luftleeren Raum reducirt, 16,346853 Grammes. Hiernach ist

1 ℔ Troy = 372,9986 Grammes.
1 ℔ avoir du poids = 453,2968 Grammes.
1 Quintal = 112 ℔ a. d. p. = 50,76927 Kilogr.
1 Tonne = 20 Quint. = 1015,3850 Kilogr.
1 Gallon = 4,543454 Litres.
1 Bushel = 8 Gallons = 36,347632 Lit.

In den kaiserl. österreichischen Staaten sind Mafse und Gewichte allerdings gesetzlich bestimmt, allein es giebt in den verschiedenen Provinzen verschiedene, wovon hier nur die Wiener als die wichtigsten aufzunehmen sind [2].

Wiener	Klafter	von 6 F.	1896,614	Millim.
—	Fufs	— 12 Z.	316,102	—
—	Zoll	— 12 Lin.	26,349	—
—	Linie	. . . .	2,195	—
—	Elle	— 2,465 F.	779,922	—

Ein Joch Feldmafs hält 1600 Wiener Quadrat-Klafter, jedes Q. Kl. zu 3,597144665 Quadrat-Meter. Ein Stachel Holzmafs im Salzkammergute = 21,5 Wien. Klafter, eine Währing Töpferthon = 480 Wien. Cub. F.

[1]) Francoeur in Nouv. Bullet. des Scienc. pour la Soc. Phil., Sept. 1825. p. 129. u. an v. O.

[2]) Scholz Anfangsgr. d. Phys. 1827. p. 713. ff.

Die Wiener Hohlmafse sind:

1 Metze von 8 Achteln	61,499370	C. Millim.
1 Achtel von 4 grofs. Mässeln . .	7,687435	—
1 grofses Mäfsel von 2 kleinen . .	1,921859	—
1 kleines Mäfsel von 2 Bechern . .	0,960929	—
1 Becher	0,480464	—
1 Eimer von 40 Mafs	56,600630	—
1 Mafs zu 4 Seitel	1,415015	—
1 Seitel von 2 Pfiff	0,353754	—

Unter sich und mit dem Wiener Mafse verglichen betragen 10000 Metzen 19471 Wien. Cub. F. und 1000 Eimer 1792 Cub. F.; ein Fafs 10 Eimer; ein Dreiling 30 Eimer.

Als Norm der Gewichte dient die Wiener Mark, deren 5 genau 6 Cöln. betragen, und = 280644 Milligrammes sind. Durch Halbirungen beträgt sie 65536 Richtpfennigtheile, deren 1 = 4,28229 Millig. ist. Münz- und Silbergewicht ist dann

1 Mark = 16 Loth	280644	Milligr.
1 Loth = 4 Quentchen	17540	—
1 Quentchen 4 Pfennige	4385	—
1 Pfennig	1096	—

Für Gold- und Silberproben ist 1 Pfennig = 1096,266 Millig. und wird beim Golde in 24 Karat, der Karat in 12 Gran, der Gran in 24 Grän getheilt; beim Silber dagegen in 16 verjüngte Lothe, das Loth in 18 Grän. Beim Handelsgewichte ist

1 Centner = 100 ℔	56001200	Milligr.
1 Pfund = 32 Lothe	560012	—
1 Loth = 4 Quentchen	17500	—
1 Quentchen = 4 Sechzehntel . .	4375	—
1 Gramme = 13,7 Wien. Gran . .	1094	—

Medicinalgewicht ist:

1 Pfund von 12 Unzen	420009	Milligr.
1 Unze von 8 Drachmen	35000,8	—
1 Drachme von 3 Skrupeln	4375	—
1 Skrupel von 20 Gran	1458	—
1 Gran	72,9	—

In Rufsland sind verschiedene, und nicht überall gesetzlich mit hinlänglicher Schärfe regulirte Mafse üblich. Die gebräuchlichsten sind: Der Fufs = 538,2 Millim. Die Arschine = 711,5 MM.; der Werschok = 44,4 MM. Die neue russ. Wersta hält 1500 Arschinen. Das Tschetwert = 19218553i Cub. Millim. und 1 Wedro 12695272 Cub.

Millim. Das Pfund hält 32 Lothe, das Loth 3 Solotnik und beträgt ein ℔. Handelsgewicht 408978,6 Milligr., oder nach Fufs [1]) beträgt ein Gram = 0,00244847 russ. Pfunde oder 0,23505 Solotnik.

In Schweden sind die Mafse auf königl. Befehl sehr genau durch Svanberg und Cronstrand regulirt [2]). Hiernach ist: 1 Aln = 2 Fot = 4 Qvarter = 24 Verthum = 20 Decimalthum (Decimalzolle) = 200 Linier = 0,594 Meter. 1 Famn = 3 Alnar = 6 Fot = 1,782 Meter. 1 Tunna = 36 Kappar = 165 franz. Liter. Eine kleinere Tonne dagegen giebt: 1 Tunna = 32 Kappar = 146,5 Liter. 1 Kappar = 1,75 Kanna = 4,58 Liter. 1 Kanna = 2 Stop = 8 Qvartar = 32 Jungfrur = 100 Cubik-Decimaltum = 2,62 Liter. Ferner enthält: 1 Am = 4 Ankar = 60 Kannor = 157 Liter. 1 Last = 12 Tunnor = 432 Kappar = 1980 Liter. 1 Skeppund = 20 Lispund = 400 Skalpund = 170,049 Kilogram.; 1 Skalpund = 32 Lod = 425,1225 Grammes; 1 Lod = 4 Qvintin = 13,285 Grammes. Nach einer andern Vergleichung ist 1 engl. Zoll Parlamentmafs = 0,8551125 schwed. Decimalzolle; 1 Fathom Parlamentmafs = 1,0266135 Famn.; 1 Toise = 1,0941287 Famn; 1 Mètre = 33,682133 schwed. Decimalzolle. 1 ℔ Handelsgewicht = 0,8682436 engl. ℔ Troy = 425010,4 Milligr.; 1 Kilogr. = 2,352814 schwed. Pfund; 1 schwed. Kanne destillirtes Wasser bei 16°,667 C. im Vacuo = 6,151951 schwed. Pfunde.

In den preufsischen Staaten sind die Mafse nach sorgfältiger Untersuchung durch Eytelwein regulirt [3]). In der Hauptsache beträgt der Brandenburger oder rheinländische Fufs 139,13 par. Lin. oder 0,313853542749 Met., und wird nach der Decimaleintheilung in Zolle, Linien und Skrupel eingetheilt; 12 F. machen eine Ruthe. Meistentheils werden in Deutschland die Gröfsen in Cölnischem Markgewichte oder in Medicinalgewichte angegeben, wenn man sich nicht des neufranzösischen Mafses bedient. Es ist aber 1 Pfund Cöln. Markgewicht = 2 Mark = 16 Unzen =

---

1) Allgem. Nord. Ann. VIII. 217.

2) Stockholmer Denksch. 1825. I. Daraus in The Journ. of the Royal Instit. XLIII. 164.

3) Vergleichungen der in den königl. preufsischen Staaten eingeführten Mafse und Gewichte. Berlin 1798. 8. Einen später erschienenen Nachtrag habe ich nicht zur Hand. Eine ausführliche Vergleichung des im Jahre 1816 regulirten preufs. Mafses mit dem französ. und engl. findet sich in: Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleifses in Preufsen. Berlin 1827. p. 210. Im Auszuge in Dingler's Polytechn. Journ. XXVII. 73.

32 Loth = 128 Pfennige = 7680 Gran = 8704 Eschen = 9728 As = 131072 Richtpfennigtheile. Gewöhnlich geht man nur bis Grane, und deren Unterabtheilungen, und dann ist 1 ℔ = 32 Loth; 1 Lt. = 4 Quentchen; 1 Qt. = 60 Gran; 1 Gr. = 17 1/15 Richtpfennigtheile. Beim Medicinalgewichte ist 1 Pfund = 12 Unzen = 96 Drachmen = 288 Scrupel = 5760 Gran = 100224 Richtpfennigtheile. Hiernach ist 1 ℔ = 12 Unzen; 1 U. = 8 Drachmen; 1 Dr. = 3 Scrupel; 1 Scrupel = 20 Gran; 1 Gr. = 17 2/5 Richtpfennigth. Durch Abwägungen fand Eytelwein, daſs 5 Gran Med. Gew. 87 Cöln. Richtpfennigtheile betrugen; 1 Unze franz. Markgewicht 8575,36 Cöln. Richtpfennigth.. Das Gewicht eines rheinl. Cubikzolles Regenwasser bei 3,2 R. betrug 288,211 Gran Med. Gew. und bei 14° R. als der im Preuſsischen angenommenen Normaltemperatur genau 288 Gran. Hiernach wiegt ein rheinländischer Cub. F. Wasser 86,4 Pfund zu 12 Unzen oder 64,8 Pfund zu 16 Unzen Medizinal-Gewicht, oder 66,065625 Pfund Cölnisch Markgewicht.

In Baiern sind 1811 die Maſse und Gewichte regulirt, allein es giebt daselbst nicht, wie in Frankreich, eine für das ganze Königreich bestimmte Norm. Der Baiersche Fuſs = 291,9 und die Elle 835 Millim. Bei Flüssigkeiten beträgt das Maſs, deren 60 einen Eimer ausmachen, 617132 Cubikmillim.; 1 Pfund Handelsgewicht von 32 Lothen = 560012 Milligr. und 1 Pfund Apothekergewicht von 12 Unzen = 360000 Milligramme.

Der Würtembergsche Fuſs beträgt nach Bohnenberger [1]) 127 par. Linien, und wird dann in 12 Zolle und Linien oder in 10 Z. und Lin. getheilt. Es fand sich ferner das Gewicht eines Würtemb. Cubikfuſses Regenwasser bei 11° R. = 50 ℔. 6 Lt. 0 qt. 12 gr. Cöln., eines Pariser 73 ℔. 5 Lt. 0 qt. 44 gr. Cöln., und 12 Unzen Medicinalgewicht wogen 24 Lt. 1 qt. 52,5 Gr. Cöln., so daſs also das Würtembergsche Medicinalgewicht mit dem von Eytelwein untersuchten völlig übereinstimmt.

Der Leipziger Fuſs, deren zwei eine Elle geben, miſst 282,7 Millimeter. Dort wie in Dresden hat man als Fruchtmaſs den Mispel = 2 Malter = 24 Scheffel = 96 Vierthel; und der Scheffel = 106680100 Cub. Millim.; für Flüssigkeiten hält das Fuder 2,4 Faſs, = 12 Eimer = 256 = Kannen, und die Kanne = 1204069 Cub. Millimeter. Das Pfund Handelsgewicht von 32 Lt. beträgt 466827,5; die Mark

[1]) Tübinger Blätter Heft I. p. 51.

Münzgewicht von 16 Lt. aber = 233461,8 Milligramme. Auch im Königreiche Hannover ist die Norm des Mafses und Gewichtes weder allgemein noch mit hinlänglicher Schärfe bestimmt. Der dortige Fufs, deren zwei eine Elle bilden und sechzehn eine Ruthe, hält 292 Millimeter. Als Getraidemafs ist am üblichsten der sogenannte Braunschweigsche Himten, welcher 4 Metzen begreift, und einen rheinländischen Cubikfufs Inhalt haben soll. Auf französ. Mafs reducirt beträgt derselbe 31103450 Cub. Millimeter; 6 Himten geben 1 Malter, 12 Malter 1 Fuder, 4 Fuder 1 Mispel, und 2 Mispel 1 Last. Für Flüssigkeiten hält 1 Fuder 4 Oxthoft = 6 Ohm = 15 Eimer (oder Anker) = 480 Mafs = 960 braunschweigsche Quartiere, jedes zu 2 Nöfsel. Der Inhalt des Quartiers = 971983 Cub. Millimeter.

Genau geregelte Normen des Mafses und Gewichtes haben das Grofsherzogthum Hessen und Baden. Nach den neuesten Bestimmungen im Grofsherzogthum Hessen [1]) beträgt die Elle 0,6 Meter, und enthält 2 Fufs, welche wieder auf die gewöhnliche Weise getheilt sind. Das Malter für trockne Sachen beträgt 128 Liters, die Ohm für Flüssigkeiten ist zu 160 Liter, das Pfund zu 0,5 Kilogram festgesetzt, und sind dabei die Unterabtheilungen in 32 Lothe, das Loth zu 4 Quentchen beibehalten; aufserdem beträgt 0,25 Hectare einen Morgen Land, oder da für den technischen Gebrauch 2.5 Meter als Klafter festgesetzt, und in 100 Zolle getheilt ist, so geben 100 Quadratklafter auf ein Virthel und 400 auf einen Morgen.

Statt der vielen, im Grofsherzogthum Baden üblichen, Mafse hat Wild [2]) mittlere, nachher gesetzlich angenommene vorgeschlagen. Die Elle wird auch hier = 0,6 Meter oder = 1,84706 par. Fufs angenommen, wonach also der Fufs = 0,92353 par. F. beträgt, und in 10 Zolle, der Zoll in 10 Lin. getheilt wird. Ein solcher Fufs beträgt dann 11,0823084 par. Zolle oder 132,9887808 par. Linien. Das Klafter besteht aus 6 Fufs, welche 5,5411992 par. F. gleichkommen; 10 F. machen 1 Ruthe = 5 Ellen = 3 Meter. Für Feldmafs ist die Juchert = 400 Quadratruthen oder 34116,54

[1]) S. gedrängte' Uebersicht des früheren und jetzigen Zustandes des Mafs- und Gewichts-Wesens im Grofsh. Hessen. Als Mspt. zum officiellen Gebrauche gedruckt. Darmst. 1820. Eine für diesen Gegenstand überhaupt sehr lehrreiche Schrift.

[2]) Ueber allgemeines Mafs und Gewicht u. s. w. Von M. F. Wild. Freiburg 1809. II. vol. 8.

par Quadratfufs bestimmt. Bei Hohlmafsen für trockne und flüssige Körper liegt die nämliche Normalgröfse zum Grunde, nämlich für erstere das Mefslein, für leztere die Mafs, beide 1,5 Liter = 75,6186 par. Cub. Zolle betragend, wonach dann die Decimal-Eintheilung giebt:

Trockne Subst.		*Flüssige Subst.*		*Par. Cub. Z.*
Zuber	— —	Fuder	— —	75618,6
Malter	— —	Ohm	— —	7561,86
Sester	— —	Stütze	— —	756,186
Mefslein	— —	Mafs	— —	75,6186
Becher	— —	Glas	— —	7,56186

das Pfund endlich soll gleichfalls 0,5 Kilogram. oder 1,021438 des alten Par. Pfundes betragen. Bis jezt ist indefs diese Mafs- und Gewichts-Bestimmung noch nicht in Anwendung gekommen [1]).

§. 45.

Man kann aus dem bekannten spec. Gewichte der Körper durch das Wägen im Wasser oft ihre Reinheit erforschen. Sind aber Körper gemischt; so wird die Dichtigkeit ihrer Bestandtheile zu sehr verändert, als dafs man aus dem sp. G. des Ganzen das quantitative Verhältnifs der Theile ausmitteln könnte.

Die Aufgabe, aus dem bekannten specifischen Gewichte zweier Körper und aus dem einer Mischung derselben die Mengen der einzelnen Bestandtheile zu finden, ist unter dem Namen der Archimedeischen Wasserprobe bekannt. Nach Vitruv [2]) hatte nämlich Hiero zu Syracus aus 20 ℔. Gold eine Krone verfertigen lassen, glaubte nachher, das Metall sey durch Silber verfälscht, und wünschte dieses ohne Beschädigung der Krone zu erfahren, wozu ihm Archimedes die hydrostatische Wägung empfahl, welche allerdings vollkommen genügend ist unter der Voraussetzung, dafs das Volumen der Mischung der Summe des Volumens

[1]) Es scheint mir überflüssig, mehr als die mitgetheilten, in physikalischen oder dahin einschlagenden Schriften oft vorkommenden Mafse und Gewichte aufzunehmen. Unter die genau geregelten gehören sonst namentlich noch die Niederländischen. S. Verzameling van Wetten, betreffende het niewe eenvormige Stelsel van Maten en Gewigten met Vergelyking en daarop toe pafselyke Aanmerkingen. Amst. 1822. 8.

[2]) De Architectura. Lib. X. Cap. III. p. 204. ed. Rode.

beider Bestandtheile gleich bleibt und keine Zusammenziehung oder Ausdehnung erleidet. In diesem Falle nämlich muſs die Dichtigkeit oder das spec. Gewicht der Mischung der Summe der Producte der Dichtigkeiten in die Massen directe proportional seyn. Heiſst demnach das spec. Gew. der Mischung $=s$; heiſsen die Volumina und Dichtigkeiten der gemischten Substanzen V und v, D und d; so ist

$$s = \frac{VD + vd}{V + v} \; \ldots\ldots \; 1)$$

Es folgt von selbst, daſs man hieraus das Volumen, also auch die Masse des einen und des andern der gemischten Körper müsse zu finden im Stande seyn, indem $V = \frac{v(d-s)}{s-D}$ also $V:v = d-s:s-D$ oder bequemer und zur Vermeidung negativer Werthe besser

$$V:v = s-d:D-s; \; V = v\frac{s-d}{D-s} \; \ldots\ldots \; 2)$$

Wird dieses auf das Archimedeische Problem angewandt, und nehmen wir an, daſs das spec. Gew. der Krone $= 18$ gefunden sey, das des Goldes $= 20$; des Silbers $= 10$ angenommen, so war das Mengenverhältniſs beider Metalle

$$\frac{18 - 10}{20 - 18} = \frac{8}{2}$$

Eben dieses kann aus dem Gewichtsverluste unmittelbar gefunden werden, wie es durch Archimedes geschehen seyn soll. War nämlich das Gewicht der Krone $= p$, enthielt sie von A das Gewicht $= x$; von C das Gewicht $= p-x$; hätte sie aus A allein bestehend im Wasser $= a$, aus C allein bestehend $= c$ verloren, und verlor sie wirklich $= b$, so ist $ax + c(p-x) = bp$; also

$$x = \frac{b-c}{a-c}\,p$$

Es sey also $p = 20$ ℔.; das Gold allein würde 1 ℔., das Silber allein 2 ℔. im Wasser verloren haben, die Krone verlor aber 1,1 ℔. (welche Gröſsen wegen der Bequemlichkeit der Berechnung willkührlich gewählt sind), so war der Antheil am Golde $= \frac{1,1 - 2}{1 - 2} \times 20 = 18$ ℔. Eine Menge Untersuchungen haben indeſs bewiesen, daſs die nothwendige Bedingung zur Richtigkeit dieser Resultate, nämlich völliges Gleichbleiben der gemischten Massen, nicht stattfindet, obgleich die Mischungen aus Gold und Silber,

Silber und Kupfer, Silber und Zinn, Zinn und Blei minder starke Abweichungen geben.

In polizeilicher Hinsicht ist vorzüglich wichtig das Mischungsverhältnifs des Zinnbleies (das sogenannte Zinn der Geräthschaften, welches einen gröfseren oder geringeren Zusatz von Blei enthält) genauer zu kennen, weswegen Scheffer [1]), vorzüglich Axel Bergenstierna [2]), Wucherer [3]), Kupfer [4]), Meifsner [5]) und andere eine Menge Untersuchungen hierüber angestellt, und die Resultate ihrer Wägungen in Tabellen gebracht haben. Inzwischen giebt die Formel hierfür so genaue Resultate, als die Fehlergrenze der Versuche gestattet. Wäre daher das spec. Gewicht des Bleies und Zinns = 11,32 und 7,28, das der Mischung = 10,2, so giebt die Formel No. 2.

$$\frac{10,2 - 7,28}{11,32 - 10,2} = \frac{2,92}{1,12} = \frac{73}{28}$$

und es wären also 73 Th. Blei gegen 28 Th. Zinn in der Mischung enthalten.

Gleich wichtig ist die Aufgabe, in einer gegebenen Mischung von Alkohol und Wasser den Gehalt an ersterem zu finden, welches insbesondere bei der Versteuerung vorkommt, indem nicht das Wasser, sondern nur der Weingeist bei der Einfuhr oder Ausfuhr u. s. w. einer Abgabe unterworfen werden kann, und daher die Quantität des lezteren auszumitteln ist. In England haben daher Blagden und Gilpin aus einer zahllosen Menge von Versuchen sehr weitläuftige Tabellen hierüber mitgetheilt [6]), welche aber dadurch an Werth sehr verlieren, dafs der von ihnen als absoluter Alkohol betrachtete dieses nicht war. Ungleich besser sind die durch Tralles gefundenen Resultate, welcher bei seinen Wägungen den von Rose mit grofser Sorgfalt bereiteten absoluten Alkohol anwandte [7]). Die hierbei zum Grunde liegende Normaltemperatur war = 60° F. = 12°,45 R. = 15°,56 C. Wird diese bei den Wägungen be-

---

1) Schw. Abh. 1755. p. 134.

2) Ebend. 1780. p. 141.

3) Ueber d. spec. Gewichte des Zinnbleies u. s. w. Freib. 1817. 4.

4) Kastner Archiv. VIII. 331.

5) Die Aräometrie u. s. w. p. 59.

6) Phil. Trans. 1794. I. p. 275. Andere Untersuchungen von Lowitz finden sich in v. Crell chem. Ann. 1796. Bd. I. Vergl. Gren N. J. a. v. O. Richter in Stöchiometrie Bd. II. u. III.

7) S. Gilb. Ann. XXXVIII. 350.

obachtet, so gehören nach einem Auszuge aus den weitläuftigen Tabellen folgende spec. Gewichte und Alkoholgehalte in Procenten der Mischung einander zu, wobei die zwischenliegenden durch eine einfache Interpolation leicht zu erhalten sind.

pC. Alk.	spec. Gew.	pC. Alk.	spec. Gew	pC. Alk.	spec. Gew.	pC. Alk.	Spec. Gew.
1	9976	26	9689	52	9295	78	8685
2	9961	28	9668	54	9254	80	8631
4	9933	30	9646	56	9213	82	8575
6	9906	32	9622	58	9170	84	8518
8	9881	34	9596	60	9126	86	8458
10	9857	36	9570	62	9082	88	8397
12	9834	38	9541	64	9036	90	8332
14	9812	40	9510	66	8989	92	8265
16	9791	42	9478	68	8941	94	8194
18	9771	44	9444	70	8892	96	8118
20	9751	46	9409	72	8842	98	8034
22	9731	48	9373	74	8791	99	7988
24	9710	50	9335	76	8739	100	7939

Steigt die Temperatur, so beträgt die Ausdehnung der gemischten Flüssigkeit vermuthlich das Mittel zwischen den Ausdehnungen beider Bestandtheile [1]; weil es aber mühsam ist, diese Rechnung jederzeit vorzunehmen, deren Resultate ohnehin nicht absolut gewifs sind, so theile ich hier noch die Ergebnisse der Wägungen mit, welche Delezennes mit grofser Sorgfalt angestellt hat [2], da die Veranlassungen, hiervon Gebrauch zu machen, so häufig vorkommen. Für die zwischenliegenden Grade und Procente geben einfache Interpolationen hinlänglich genaue Werthe. Die Temperaturen sind nach der hunderttheiligen Skale, die spec. Gewichte aber sind gegen Wasser als Einheit = 10000 angenommen.

---

[1]) Vergl. G. G. Schmidt Hand- u. Lehrbuch d. Naturl. p. 168.

[2]) Recueil des Traveaux de la Soc. des Sc. de l'Agriculture et des Arts de Lille. 1823 u. 24. p. 1.

pC. d. Alk.	bei 0°	bei 18°	bei 36°	bei 54°
0	10000	9985	9935	9872
5	9913	9898	9852	9774
10	9850	9826	9768	9680
15	9801	9759	9685	9605
20	9759	9697	9608	9505
25	9714	9631	9525	9410
30	9658	9558	9439	9317
35	9589	9468	9345	9213
40	9501	9378	9240	9106
45	9399	9273	9130	8996
50	9305	9168	9026	8880
55	9204	9060	8904	8759
60	9091	8947	8796	8638
65	8979	8338	8676	8519
70	8865	8718	8558	8405
75	8749	8597	8439	8288
80	8632	8483	8319	8169
85	8511	8356	8197	8041
90	8384	8231	8072	7910
95	8252	8097	7938	7779
100	8119	7954	7801	7644

Von grofser Wichtigkeit endlich ist es, den Gehalt der Salzsole aus dem spec. Gewichte derselben zu erkennen, eine Aufgabe, welche im Technischen bei den Salzsiedereien und im Oekonomischen bei der Bereitung von Salzlösungen in Anwendung kommt. Verschiedene Gelehrte haben sich daher damit beschäftigt, diesen Gegenstand durch Versuche aufzuklären, unter denen hauptsächlich Lambert [1]) und noch mehr J. A. Bischof [2]) genannt zu werden verdienen. Aus den darüber mitgetheilten sehr ausführlichen Tabellen entlehne ich folgenden Auszug, worin die spec. Gewichte der Salzsolen, die des Wassers = 1000 angenommen, und die Procente reinen Kochsalzes, welches sie enthalten, für eine Temperatur von 15° Reaum. nebeneinandergestellt sind.

---

[1]) Hist. de l'Acad. de Prusse 1762. T. XVIII. p. 27.

[2]) Gilb. Ann. XXXV. p. 311 ff. LI. p. 397. C. J. B. Karsten Archiv für Bergbau u. Hüttenwesen XI. p. 211.

spec. G.	pC.	spec. G.	pC.	spec. G.	pC.
1005	0,709	1075	10,351	1145	19,516
1010	1,416	1080	11,021	1150	20,154
1015	2,111	1085	11,687	1155	20,790
1020	2,820	1090	12,352	1160	21,426
1025	3,518	1095	12,973	1165	22,058
1030	4,214	1100	13,674	1170	22,689
1035	4,906	1105	14,333	1175	23,318
1040	5,596	1110	14,988	1180	23,945
1045	6,283	1115	15,641	1185	24,570
1050	6,968	1120	16,292	1190	25,196
1055	7,607	1125	16,941	1195	25,814
1060	8,329	1130	17,588	1200	26,436
1065	8,005	1135	18,233	1205	27,053
1070	9,680	1140	18,875	1208	27,401

§. 46.

Wenn der Druck der Flüssigkeiten gegen die Wände der Gefäfse an einigen Stellen durch Oeffnungen in denselben aufgehoben wird, so mufs hierdurch eine Reaction nach der entgegengesetzten Seite entstehen.

Es ist oben §. 40. gezeigt, dafs die in Gefäfsen eingeschlossenen Flüssigkeiten gegen jeden gegebenen Flächenraum der einschliefsenden Wände einen Druck ausüben, welcher dem Gewichte einer Säule dieser Flüssigkeit von der Gröfse jener Fläche als Basis und der Höhe vom Mittelpunkte derselben bis zum Wasserspiegel gleich ist. Auf gleiche Weise wurde aber auch nachgewiesen, dafs ebendieselben gegen die diametral gegenüberstehenden Wandflächen einen diesem angegebenen ganz gleichen Druck in entgegengesetzter Richtung ausüben, welche sich daher gegenseitig aufheben müssen, so dafs die Gefäfse nach keiner Seite hin eine Bewegung erhalten. Befindet sich dagegen in der Wand eine Oeffnung, aus welcher die Flüssigkeit frei ausströmen kann, so findet an dieser Stelle der genannte Druck nicht statt, und das Gefäfs mufs also mit einer, diesem aufgehobenen Drucke proportionalen Kraft nach der entgegengesetzten Seite bewegt werden. Manche haben diese Wirkung vom Stofse des Wassers gegen die Luft ab-

geleitet, allein die Demonstration zeigt den gänzlichen Ungrund dieser Ansicht. Die Erscheinung zeigt sich im luftvollen wie im luftverdünnten Raume, und ist allgemein bei allen gegen die Wände der Gefäſse drückenden Flüssigkeiten, sowohl bei tropfbaren als expansibelen, daher das Steigen der Raketen, das Drehen der Feuerräder, Rückweichen der Kanonen, Stoſsen der Schieſsgewehre u. s. w.

Es sind viele Untersuchungen über die Kraft der Reaction des Wassers angestellt, welche dasselbe bei seinem Ausflusse aus Oeffnungen in verschiedener Tiefe unter dem Wasserspiegel ausübt, und meistens mit Segner's Wasserrade oder Barker's durch Rumsey verbesserter Mühle in Verbindung gesetzt. Wird nämlich ein Gefäſs (es sey dieses ein cylindrisches) an einem lothrecht über seinem Schwerpuncte befestigten Faden aufgehangen, so wird dasselbe wegen des überall gleichen Druckes der eingeschlossenen Flüssigkeiten gegen seine Wandungen gerade herabhängen, sogleich aber einen Winkel mit der verticalen Linie bilden, wenn das Wasser aus einer nahe über dem Boden gemachten Oeffnung seitwärts ausströmt. Noch sichtbarer und bequemer läſst sich dieses an der genannten Maschine Fig. 30.] zeigen. Es sey abcd ein hohler Cylinder mit zwei horizontalen Armen e und f, welcher unten auf einer Spitze ruhet und oben vermittelst eines in seiner Axe befestigten, durch eine Oeffnung in dem horizontalen Riegel pq gehenden, Stabes in verticaler Richtung erhalten wird. Bei der Verfertigung der Modelle von Eisenblech pflegt man diesem Stabe oben eine Scheibe s zu geben und unten ein kreisrundes Gefäſs rr zur Aufnahme des ausflieſsenden Wassers anzubringen. Sind dann in den Enden der Arme ef Löcher gebohrt, in jeden eins, welche nach entgegengesetzten Seiten ausgehend auf die Axen in horizontaler Ebene perpendiculär gerichtet sind, so strömt das Wasser mit einer Geschwindigkeit aus, welche der Quadratwurzel aus der lothrechten Höhe der Wassersäule im Cylinder nf; ne proportional ist. Heiſst diese $= h$, und theilte das Wasser dem Arme durch Reaction diejenige Geschwindigkeit mit, welche es selbst beim Ausflieſsen erhält, so wäre die Geschwindigkeit der Bewegung $v = 2\sqrt{gh}$ (§. 47.), und lieſse sich das mechanische Moment als das Product der ausflieſsenden Wassermenge in die Geschwindigkeit betrachten, so wäre für einen Querschnitt des Wasserstrahles da, wo er am dünnsten ist $= w$ (§. 47) das mechanische Moment $m = 2w\sqrt{gh}$. Es läſst sich aber bald übersehen, daſs der Effect dieser in-

teressanten Maschine auf eine so einfache Weise nicht berechnet werden kann, indem die Geschwindigkeit des ausfliefsenden Wasserstrahles in dem Mafse vermindert wird, als der Arm der Maschine sich nach entgegengesetzter Seite bewegt, zugleich aber wächst, je stärker durch diese Bewegung die Schwungkraft auf die Wassertheilchen in den horizontalen Cylindern wirkt, den Widerstand der Luft nicht gerechnet. Eben daher sind die Resultate der gelehrten Untersuchungen und Berechnungen über den Effect dieser Maschine, welche Segner [1]. L. Euler [2], W. Waring [3], und neuerdings P. Ewart [4] angestellt haben, sehr verschieden ausgefallen. Nach Euler ist der Effect der Maschine für gleiche Wassermenge und Fallhöhe viermal so grofs, als bei gewöhnlichen Wassermaschinen, nach Ewart aber ist er gröfser als bei unterschlächtigen Mühlrädern, aber geringer als bei vortheilhaft construirten oberschlächtigen [5].

§. 47.

Obwohl das Wasser, so wie alle Flüssigkeiten, bei seiner Bewegung den allgemeinen Gesetzen der Schwere unterworfen ist, und den Hindernissen der Reibung nicht unterliegt, so wird doch die Anwendung dieser Gesetze in der Wirklichkeit durch mannigfaltige Bedingungen modificirt, welche aus der Adhäsion desselben an die Wände der Gefäfse, dem Gegendrucke der seitwärts drückenden Wassersäulen und andern Hindernissen der Bewegung entstehen. Es zeigt sich dieses vorzüglich beim Abflusse desselben aus Gefäfsen, und bei seiner Bewegung in verschlossenen und offenen Canälen.

Wenn das Wasser aus einer Oeffnung in einem Gefäfse, entweder in einer der Seitenwände oder im Boden desselben, abfliefst, so folgt schon aus den ersten hydrostatischen Gesetzen (§. 40 u. 41), dafs der Druck, welchen der ab-

[1]) Mém. de Berlin 1750. p. 311. 1754. p. 227. Com. Pet. VI. p. 312.
[2]) Acad. de Berl. 1751.
[3]) Transactions of the American Phil. Soc. T. III. p. 185.
[4]) The Philos. Mag. and Anuals of Phil. III. 416 mit Anm. von Ivory.
[5]) Vergl. Langsdorf Handbuch d. Maschinenl. I. 171.

fliefsende Theil durch die umgebenden Wassersäulen erleidet, der Höhe bis zum Wasserspiegel proportional seyn, und deswegen auch die Geschwindigkeit des Abfliefsens mit dieser Höhe zunehmen mufs, weil ohne dieses die gröfsere Fallhöhe keine vermehrte Sprunghöhe bei Fontainen geben könnte. Eine nähere Betrachtung der Sache ergiebt, dafs beim Ausströmen die abfliefsende Wassersäule als herabfallend zu denken sey, wonach also die Geschwindigkeiten des Abfliefsens sich auf die Fallgesetze zurückführen lassen, wie Torricelli[1]) zuerst erkannte, Mariotte[2]) und Guglielmini[3]) aber durch Versuche bestätigten. Es ist aber (§. 28) die Fallgeschwindigkeit eines Körpers $c = 2\sqrt{gs}$ gefunden, wenn g den Fallraum in einer Secunde, und s den Raum bezeichnet, von welchem er herabfällt; und da die abfliefsende Wassermenge der Gröfse der Ausflufsöffnung und der Geschwindigkeit proportional seyn mufs, so ist die aus einer gegebenen Oeffnung abfliefsende Wassermenge $M = 2a\sqrt{gh}$, wenn a die Gröfse der Oeffnung und h die Höhe bis zum Wasserspiegel bezeichnet; d. h. die Mengen des aus gleichen Offnungen fliefsenden Wassers sind den Quadratwurzeln aus den Höhen bis zum Wasserspiegel, und bei gleichen Höhen den Gröfsen der Oeffnungen proportional. Das Leztere liegt in der Natür der Sache und wird allgemein angenommen, das Erstere aber oft nicht beachtet, indem namentlich bei der Theilung der Brunnen die Wassermenge ohne Rücksicht auf die Fallhöhe blofs nach der Weite der Ablauföffnung bestimmt zu werden pflegt. Zur Erläuterung der Sache pflegt man eine möglichst cyliudrische Glasröhre oder ein aus zwei Blechstreifen und zwei einander gegenüberstehenden Glasstreifen zusammengesetztes Parallelopipedon in Abtheilungen zu theilen, welche sich wie die Quadratwurzeln aus den Höhen verhalten, unten mit einer Fassung und einem Röhrchen zu versehen, mit Wasser zu füllen und lothrecht aufzurichten, wobei sich dann zeigt, dafs ungleiche Wassermengen aus gleichen Oeffnungen in gleichen Zeiten abfliefsen.

Aus dem aufgestellten Gesetze folgt ferner, dafs wenn
Fig. 31] in einem Gefäfse ABCD die Löcher e; f; g in verschiedenen Höhen unter dem Wasserspiegel angebracht sind, die aus denselben hervorspringenden Wasserstrahlen

[1]) Del Moto dei Gravi. 1644.

[2]) Du mouvement des Eaux. Par. 1686.

[3]) De mensura aquarum fluentium. Bonon. 1690. 4.

unter übrigens gleichen Bedingungen in gleichen Zeiten den Quadratwurzeln aus den Höhen unter dem Wasserspiegel proportionale Räume durchlaufen, und durch den gemeinschaftlichen Einflufs der erhaltenen, in horizontaler Richtung wirkenden, Geschwindigkeit und der in verticaler Richtung wirkenden Schwere den einen Schenkel einer Parabel beschreiben müssen, wie dieses bei allen geworfenen Körpern der Fall ist (§. 31). Wird eine Röhre bei h unter einem beliebigen Winkel in die Höhe gerichtet, so beschreibt der Wasserstrahl nach gleichem Gesetze beide Arme einer Parabel. Da der Widerstand der Luft hierbei nur gering ist, so liefse sich die durch den Strahl beschriebene Parabel genau berechnen, welche Aufgabe indefs den dazu erforderlichen Aufwand nicht verdient. Polenus [1]) hat hierüber zuerst genauere Untersuchungen und Versuche angestellt.

Nach den angegebenen Grundtätzen müfste sich die aus einer Oeffnung bei gegebener Höhe bis zum Wasserspiegel in einer bestimmten Zeit abfliefsende Wassermenge genau berechnen lassen, indem man den Strahl als einen mit gegebener Geschwindigkeit durch die Oeffnung bewegten Körper zu betrachten hat. Betrüge z. B. der Flächeninhalt der Abflufsöffnung 0,25 Quadratfufs, und flösse das Wasser mit 4 F. Geschwindigkeit in einer Secunde, so müfste in dieser Zeit genau 1 Cub. F. Wasser abfliefsen. Allein Polenus entdeckte gleichfalls zuerst, dafs die Resultate der Versuche hiermit nicht übereinkamen, indem er die abfliefsende Menge allezeit geringer fand, als sie nach der Berechnung seyn sollte, und die Ursache in der Zusammenziehung des Wasserstrahls in einiger Entfernung von der Oeffnung entdeckte, welches nachher durch Newtons [2]) und insbesondere Dan. Bernoulli's [3]) wirkliche Messungen bestätigt wurde. Unter die bedeutendsten späteren Versuche gehören die von de Borda [4]), Bossut [5]) und Langs-

---

[1]) De Castellis. Flor. 1718. Ital. Delle Pescaje. In Nuova Raccolta dei Autori, che trattano, del muoto dell' Acque. Parma 1766. 4. T. III.

[2]) Phil. N. Princ. L. II. prop. 36.

[3]) Hydrodynamica. Sect. 4. §. 3. Vergl. Jurin in Phil. Trans. XLI. p. 5 u. p. 65.

[4]) Mém. de l'Acad. 1766. p. 579.

[5]) Lehrbegriff der Hydrodynamik. Uebers. von Langsdorf. Frankf. 1792 II. vol. 8.

dorf [1]), Vince [2]), Venturi [3]), Eytelwein [4]), Michelotti [5]), Gerstner [6]), Girard [7]), Hachette [8]), und Navier [9]), welcher hauptsächlich auf die Adhäsion an die Wände der Ausflufsröhren Rücksicht nahm. Unter diesen sind die Versuche von Michelotti im gröfsten Mafsstabe angestellt, indem er das Wasser aus einem Flusse in einen Thurm leitete und aus sehr weiten Oeffnungen strömen liefs, die von Eytelwein aber zeigen einen vorzüglich hohen Grad der Genauigkeit. Als allgemeines Resultat, welches für die Praxis als genügend anzunehmen ist, kann man dabei stehen bleiben, dafs wenn α den quadratischen Querschnitt der Oeffnung bedeutet, aus welcher das Wasser abfliefst, h die Höhe bis zum Wasserspiegel, die in einer gegebenen Zeit abfliefsende Wassermenge $= M$

1) für Oeffnungen in dünnen Blechen $M = 0{,}62\,\alpha \times 2\sqrt{gh}$,

2) für nicht zu lange Röhren, deren Länge den Durchmesser um nicht mehr als das Zehnfache übertrifft, $M = 0{,}8\,\alpha \times 2\sqrt{gh}$ ist, statt dafs ohne die Zusammenziehung des Wasserstrahles in beiden Fällen $M = 2\,\alpha\sqrt{gh}$ seyn müfste [10]).

Insofern also die Verminderung der Abflufsmengen des Wassers eine Folge der durch den Seitendruck der Wassersäulen bewirkten Zusammenziehung der Wasserader ist, erklären sich einige von den Resultaten der Versuche leicht. Dahin gehört, dafs die abfliefsende Wassermenge gröfser ist, wenn die in einem dünnen Bleche befindliche Oeffnung mit einem in das Wasser hinaufreichenden Röhrenende versehen ist, dessen Wände den Seitendruck des Wassers aufhalten.

Schwieriger zu erklären ist folgende Beobachtung, welche Eytelwein bei seinen Versuchen erhielt. Wenn die

---

1) Lehrb. d. Hydraulik. Altenb. 1794. 4.

2) Phil. Trans. 1795. I.

3) Gilb. Ann. II. 418, III. 41.

4) Gilb. Ann. VII, 295.

5) Sperimenti idraulici etc. di E. D. Michelotti. Torino 1767 u. 1771. II. vol. 4. Deutsch nebst einer Abh. von J. T. Michelotti und Anm. von Eytelwein. Berl. 1808. gr. 4.

6) Gilb. Ann. V. p. 169.

7) Mém. de l'Inst. XIV. 249. Mém. de l'Acad. 1816. T. I. p. 187. Ann. de Chim. et de Phys. IV. p. 164.

8) Ann de Chim. et de Phys. VI. p. 225.

9) Ann. de Chim. et de Phys. XIX p. 244.

10) Vergl. Langsdorf Einleit. in die mech. Wiss. p. 190.

Fig. 32] die Ausflufsöffnung mit einem nach Innen und nach Aufsen sich erweiternden Rohre versehen ist, so läuft nicht blofs so viel Wasser aus, als nach der Formel $M = s\alpha\sqrt{gh}$ abfliefsen müfste, sondern sogar mehr als dieses. Bei den Versuchen betrug die Weite der Mündung ab $= \frac{43}{24}$ Zolle, und sonach hätte müssen $0{,}6 \times \left(\frac{43}{24}\right)^2 = 1{,}9$ mal so viel Wasser abfliefsen, als bei gleicher Höhe aus einer Oeffnung von 1 Z. Weite abgeflossen war, wogegen die gemessene Menge nur 1,5 gab. Man leitet diese Vermehrung vom Luftdrucke ab. Indem nämlich die Wasserader bei ab beträchtlich dicker ist als bei cd, mithin durch leztere Oeffnung nicht so viel ersetzt werden kann, als durch die erstere abfliefst, so müfste bei cd ein luftleerer Raum entstehen. Würde dieser wirklich gebildet, so würde zu dem Wasserdrucke hk noch der Druck einer Luftsäule = 32 F. kommen. Hierbei übersieht man leicht, dafs die Entstehung eines Vacuums bei cd wegen des gegen ab gleichfalls stattfindenden Luftdruckes unmöglich ist, leitet jedoch die vermehrte Abflufsmenge aus dieser Ursache ab. Weil indefs der Luftdruck bei h nur um eine verschwindende Gröfse, dennoch aber geringer ist als bei ab, so mufs ich diese Ursache ganz als unstatthaft verwerfen; zudem betrug bei Eytelweins Versuchen die Wasserhöhe hk nur 4 F., und wäre hierzu der Luftdruck von 32 F. gekommen, so hätten die abfliefsenden Wassermengen sich wie $\sqrt{4} : \sqrt{38}$ d. i. wie 2 : 6,16 oder wie 1 : 3,08 verhalten, mithin dreimal so grofs seyn müssen, wovon das Resultat der Versuche zu bedeutend abweicht. Mir scheint der Grund vielmehr in der Adhäsion der Wassertheilchen an den Wänden der Ausflufsröhre zu liegen. Fliefst nämlich das Wasser mit einer gegebenen Geschwindigkeit durch den Querschnitt der Röhre cd, so wird es nach dem Gesetze der Trägheit (§. 22) in der erhaltenen Geschwindigkeit beharren. Indem aber die gebildete Wasserader die erweiterte Röhre bei ab nicht ausfüllt, zugleich aber durch die Adhäsion der Wände zu dieser Ausfüllung genöthigt wird, so mufs hierdurch die Geschwindigkeit in dem Querschnitte cd vergröfsert werden. Wäre dann diese Vergröfserung der Weite der Röhre ab ganz gleich, so hätte müssen 1,9 mal so viel Wasser abfliefsen, als die Berechnung forderte; allein weil die aus der Adhäsion an den Röhrenwänden hervorgehende Kraft durch die Erzeugung einer gröfseren Geschwindigkeit der

Strömung in cd etwas verlor, so ergab der Versuch nur nahe im Mittel zwischen beiden Gröfsen 1,5 der aus der Rechnung folgenden Wassermenge. Mit dieser Erklärung stimmt überein, dafs die Ausflufsmengen der Flüssigkeiten nicht vermehrt werden durch Röhren, deren Wandungen sie nicht benetzen, z. B. bei Quecksilber durch eiserne [1]).

Mit der angegebenen Erfahrung übereinstimmend ist eine andere Beobachtung, welche Dan. Bernoulli [2]) gemacht
Fig. 33] hat. Wurde die Ausflufsöffnung ab verschlossen, so stand in der gekrümmten Röhre egf das Wasser in gleichem Niveau mit $\alpha\beta$; war sie dagegen geöffnet, so sank das Wasser tiefer unter f herab. Eigentlich müfste die Höhe, um welche das Wasser in der Röhre fg unter dem Niveau bei f stand, zu der Wasserhöhe hk addirt, das Verhältnifs der Abflufsmengen geben, so dafs dieses für ein Herabsinken $= x$ durch $\sqrt{gh} : \sqrt{g(h+x)}$ gegeben wäre, woraus sich ergiebt, dafs die durch die Adhäsion erzeugte Kraft nicht gering seyn kann. Hierauf gründet sich eine interessante Erscheinung, welche Venturi [3]) beobachtet hat.
Fig. 34] Wenn das Wasser aus einem Gefäfse in eine conische Röhre einfliefst, und diese sich in der Form cdab erweitert, aus dieser aber lothrechte Röhren α; β; γ; in ein Gefäfs mit Quecksilber herabgehen, so wird das Quecksilber in ihnen in die Höhe gehoben, u. z. am stärksen in α, welche dem engsten Theile der Ausflufsröhre am nächsten ist. Bei den Versuchen war das conische Stück cdab nur 78 Lin. lang und hatte bei ab eine Weite von 23 Lin., es stieg dann das Quecksilber in α um 53; in β um 20,5; in γ um 7 Linien, welche den Wasserhöhen von 62 Z., 24 Z. und 8,1 Zollen gleich sind. Das Maximum dieses Seiteneffectes giebt eine Neigung der Seitenwände von 3 Graden. Venturi will dieses Mittel des Aufsaugens der Flüssigkeiten zur Austrocknung sumpfiger Gegenden bei Modena angewandt haben [4]).

Von grofser Wichtigkeit für die Praxis ist die Entscheidung der Frage über die Geschwindigkeit, womit sich das Wasser in offenen Canälen oder in verschlossenen Röhren bewegt; allein die Gesetze hierüber sind noch viel zu wenig

---

[1]) S. Hachette a. a. O.

[2]) Com. Acad. Pet. IV. 194. Vergl. Venturi in Gilb. Ann. II. 430 u. 461.

[3]) Gilb. Ann. II. 419.

[4]) Leslie Elements of Nat. Phil. I. 364.

genau bestimmt, als dafs sie sich in gehöriger Schärfe allgemein kurz mittheilen liefsen. Fänden keine Hindernisse dieser Bewegung statt, so müfste bekanntlich (§. 32) die Endgeschwindigkeit des auf der geneigten Ebene herabgleitenden Wassers derjenigen gleich seyn, welche es beim lothrechten Falle von der Höhe der geneigten Ebene bis zur Basis derselben erhalten haben würde; allein bei Flüssen ist die Anwendung dieses Gesetzes schon wegen der häufigen Krümmungen unzulässig, und bei Canälen sowohl als auch Röhrenleitungen stimmt die Erfahrung damit keinesweges überein. Leslie [1]) stellt den Grundsatz auf, dafs die Endgeschwindigkeit des Wassers, wenn es in verschlossenen Röhren von beträchtlicher Länge herabfliefst, der Quadratwurzel aus der Fallhöhe directe und aus der Länge der Leitung umgekehrt proportional sey, wobei jedoch die Weite der Röhre in sofern eine Function der Geschwindigkeit ist, als Röhren von gröfserem Durchmesser verhältnifsmäfsig der Wassermenge weniger Berührungspuncte darbieten [2]). Hiernach ist, wenn h die lothrechte Fallhöhe des Wassers von seinem obersten Puncte an gerechnet; L die Länge der Wasserleitung; d den Durchmesser der Röhre bezeichnet, $v = 50\sqrt{\frac{dh}{L}}$ die Geschwindigkeit des abfliefsenden Wassers für eine Sexagesimalsecunde. Diesemnach ist also die Menge des in einer Minute aus einer Röhrenleitung ausströmenden Wassers $M = 2356\, d^2 \sqrt{\frac{dh}{L}}$ Cubikfufs. Diese Quantität ist aber nur dann zu erhalten, wenn die Röhrenleitung keine Krümmungen hat und überhaupt dem ruhigen Fliefsen des Wassers durchaus kein Hindernifs entgegenstellt, indem die aus eisernen Röhren bestehenden und keine auffallende Fehler im Baue darbietenden Wasserleitungen in Edinburg kaum $^2/_3$ dieser normalen Menge liefern. Die Strömung des Wassers in den Röhren wird hauptsächlich gehindert durch die Luft, welche sich aus dem Wasser entwickelt und oft beim Einflusse in die Röhren mechanisch mit fortgerissen wird. Um diesem Hindernisse zu be-

---

1) Elements of Nat. Phil. I. p. 373.

2) Bekanntlich ist die Oberfläche eines Cylinders $= 2r\pi h$, sein Inhalt aber $r^2\pi h$. Beide stehen also im Verhältnisse $= 2r : r^2$; die Oberfläche erweiterter Röhren wächst also im einfachen, der Cubikinhalt des darin fliefsenden Wassers aber im quadratischen Verhältnisse des Halbmessers.

gegnen müssen in geeigneten Entfernungen lothrechte Kasten auf den Röhren angebracht werden, in denen sich die Luft ansammelt und durch Oeffnen eines eingeschrobenen Stöpsels zu bestimmten Zeiten entweicht.

Die Bewegungsgesetze des Wassers in offenen Canälen und Strombetten lassen sich auf gleiche Grundsätze zurückführen, und haben sehr viele gelehrte Untersuchungen veranlafst, indefs wähle ich hier nur eine sehr einfache Darstellung derselben [1]. Nur in denjenigen Fällen, wenn die Canäle oder Ströme eine gleichbleibende Neigung gegen den Horizont haben, frei von Krümmungen und solchen Hindernissen sind, welche durch hervorspringende Ufer, Faschinen, Sandbänke u. s. w. erzeugt werden, läfst sich ein allgemeines Gesetz über die Geschwindigkeit der Bewe-
Fig. 35] gung des Wassers aufstellen. Bezeichnet dann abcd das Längen-Profil eines Flusses; fe die horizontale Linie, also bcf die Neigung des Flufsbettes, M eine zwischen zwei Querschnitte des Stromes eingeschlossene Wassermasse, so ist mno die Neigung der Ebene, auf welcher dieselbe herabgleitet, und mo = sin. mno = sin. bcf ist die Gröfse, welche die Fallgeschwindigkeit des Wassers bedingt. Diese wird um so weniger gehindert, je gröfser die fliefsende Wassermenge, und so viel mehr, je gröfser die Ufer- und Bodenfläche ist, über welcher sie hinfliefst. Ist demnach
Fig. 36] acb ein Querdurchschnitt des Flusses, heifst die Fläche desselben = f, der Umfang acb = u, so wird die Geschwindigkeit der Strömung der Gröfse jener Fläche directe und ihrem Umfange umgekehrt proportional seyn, welcher Quotient $\frac{f}{u} = q$ seyn möge. Weil sich indefs die aus der Adhäsion an dem Ufer und Boden und die sonstigen Hindernisse entstehende Verzögerung nicht gut auf allgemeine Gesetze zurückbringen läfst, so hat man einen aus der Erfahrung abstrahirten beständigen Factor = a aufgenommen. Heifst demnach der Neigungssinus des Stromes = sin. ψ, so ist hiernach die Geschwindigkeit in einer Secunde: $v = aq \sin. \psi$, und die Erfahrung giebt am besten übereinstimmend a = 321, wenn q und v in paris. Zollen ausgedrückt werden. Es folgt hieraus, dafs bei gleicher Neigung die gröfseren Ströme einen schnelleren Lauf haben als kleinere, auch erklärt sich recht gut die in der Erfahrung oft vorkommende Erscheinung, dafs insbesondere

[1]) G. G. Schmidt Hand- und Lehrb. d. Naturl. Giefsen 1826. p. 138.

schnell strömende Flüsse in der Mitte eine gröfsere Geschwindigkeit haben als an den Seiten, wo das Wasser zuweilen stellenweise rückwärts fliefst.

Ein eben so einfacher als sinnreich ausgedachter Apparat, um nicht blofs die Geschwindigkeit des Wassers in gröfseren Tiefen, sondern auch die eines auf ruhigem Wasser segelnden Schiffes zu messen, ist die durch Pitot ange-
Fig. 37] gebene und nach ihm benannte Pitotsche Röhre. Ist nämlich abc eine rechtwinklich gebogene Röhre von Blech, oben mit einer eingesezten Glasröhre versehen, deren untere Oeffnung a gerade gegen die Strömung des Wassers in einem Flusse oder bei Schiffen in der Ebene ihrer Bahn dem Wasser entgegengerichtet wird, so mufs in beiden Fällen das Wasser über das Niveau bei c steigen, wenn bei Strömen die Röhre im Zustande der Ruhe erhalten, bei Schiffen aber, mit gleicher Geschwindigkeit als diese, bewegt wird. Indem aber die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers $v = 2\sqrt{gh}$ gefunden wird, und h durh den Raum ck gegeben ist, um welchen das Wasser in der Röhre durch die Geschwindigkeit der Strömung höher steht, so läfst sich hierdurch die Geschwindigkeit des Stromes oder des Schiffes = v finden. Die Geschwindigkeit auf der Oberfläche der Flüsse findet man vermittelst leichter Kugeln, welche mit einem in das Wasser herabgehenden Schwimmer und oben mit einem Fähnchen an einem kleinen Stäbchen versehen sind, vermittelst deren man den Raum mifst, um welchen sie in einer gegebenen Zeit stromabwärts getrieben werden. Andere Apparate, womit die Geschwindigkeit der Flüsse gemessen wird, namentlich Woltmann's hydrometrischer Flügel und Brüning's Strommesser sind mehr zusammengesezt, und können nicht auf gleiche Weise kurz erklärt werden [1])

Unter die wichtigsten und interessantesten Untersuchungen über die Bewegungen des Wassers gehören diejenigen,

---

[1]) S. Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels von Woltmann. Hamb. 1790. 4. C. Brüning's Abhandl. über die Geschwindigkeit des fliefsenden Wassers, und von den Mitteln, dieselbe auf allen Tiefen zu bestimmen. A. d. Holländ. üb. von Kröncke. Frkf. 1798. Darin findet man beschrieben den schwimmenden Stab des Barattieri, den Stromquadranten, den Michelottischen und den Brüningschen Wasserhebel, den Brüningschen Strommesser, die Pitotsche Röhre, des Ximenes Wasserfahne und des Nadi hydrometrische Flasche. Recherches physico-mathematiques sur la théorie des eaux courantes, par M. Prony. à Paris 1804. Deutsch mit vielen erläuternden und polemischen Anm. von Langsdorf. Giefs. 1812.

welche sich mit den Oscillationen desselben beschäftigen, namentlich mit der Wellenbewegung. Wellen sind im Allgemeinen wechselnde Erhebungen und Senkungen des Wassers, sowohl kleinerer in enge Grenzen eingeschlossener, als der grofsen, im Weltmeere befindlichen Massen desselben. Am einfachsten beobachtet man dieselben auf der völlig ebenen Oberfläche des ruhig stehenden Wassers, wenn man einen schweren Körper hineinwirft, und dieser das Wasser trennt, welches dann in den geöffneten Raum nachfliefst, und um diesen Punct Wellen in concentrischen, meistens um gleiche Abstände wachsenden Kreisen bildet. Diese ringförmigen Wellen, wie überhaupt alle ohne Ausnahme, scheinen aus fortfliefsendem Wasser zu bestehen, sobald man aber leichte, auf der Oberfläche schwimmende Körper beobachtet, nimmt man wahr, dafs diese durch die Wellen nicht fortgeführt werden, sondern nur abwechselnd in die Höhe steigen und wieder herabsinken, so oft eine Welle unter ihnen hingleitet, und eben dieses ist auch der Fall bei den stärksten Wellen des Oceans.

Die Theorie der Wellen ist zuerst durch Newton [1]) gegeben, nachher ist dieselbe mit vieler Gelehrsamkeit behandelt durch Gerstner [2]) und hauptsächlich durch Poisson [3]) Hier genügt es, die einfachste Darstellung der Fig. 38] Hauptsache nach Newton mitzutheilen [4]). Ist ABC eine in zwei gleiche Schenkel gekrümmte Röhre, und man denkt sich dieselbe zum Theil mit Wasser angefüllt, so wird dieses in beiden Schenkeln in gleichem Niveau stehen, oder die beiden Oberflächen des Wassers fallen in eine horizontale Ebene, welche durch $\alpha\beta$ bezeichnet werden möge. Wirkte irgend eine bewegende Kraft auf das Wasser im Schenkel A, welche es von α bis n herabsinken machte, so würde es zugleich im andern Schenkel B bis o steigen, dann aber, bei entgegengesetzter Oscillation, im letzteren bis p herabsinken und im ersteren bis m aufsteigen. Hierbei ist $\alpha C\beta$ die bewegte Wassermasse, mn die bewegende Kraft, die beschleunigende Kraft $= \frac{mn}{\alpha C\beta} = \frac{\alpha m}{\alpha C}$. Denkt man sich also ein Pendel von der Länge αC um den kleinen Bogen

[1]) Phil. Nat. Princ. math. Lib. II. Sect. 8. pr. 44.

[2]) S. Gilb. Ann. XXXIII. p. 412.

[3]) Théorie des Ondes. In Mém. de l'Acad. T. I. An. 1816.

[4]) Sehr deutlich ist der Sinn von Newton's Theorie mitgetheilt durch G. G. Schmidt in Hand- u. Lehrbuch d. Naturlehre p. 142.

αm aus dem Zustande der Ruhe gerückt, so ist auch hierbei die beschleunigende Kraft $= \frac{\text{Sin. } \alpha m}{\alpha C}$, wofür bei der Kleinheit des Bogens dieser statt seines Sinus gesetzt werden kann, also $= \frac{\alpha m}{\alpha C}$, und es schwingen also ein solches Pendel und die Wassermasse in der gekrümmten Röhre gleichzeitig. Dieses ist Newton's Satz, nämlich: »Wenn Wasser in den aufgerichteten Enden eines Canals abwechselnd »steigt und fällt, und man construirt ein Pendel, dessen »Länge zwischen dem Aufhängungspuncte und dem Oscil»lations-Centrum der Hälfte der Wassersäule im Canale »gleich ist, so steigt und fällt das Wasser in gleichen Zei»ten, als in denen das Pendel schwingt.»

Fig. 39] Es mögen a und b die höchsten Puncte von zwei neben einander befindlichen Wellen bezeichnen, so ist ab = pr die Breite der Welle. Es sey dann ferner c der Gipfel der nächstfolgenden Welle, welche diesen höchsten Punct erreicht hat, wenn a an den tiefsten gelangt ist, und $\alpha\delta\beta$ sey der vorher angenommenen Wassersäule $\alpha C \beta$ gleich, so wird eine Wellenschwankung von a bis q in derselben Zeit stattfinden, in welcher ein Pendel von der Länge $= \frac{1}{2}$ aq eine Schwingung macht, wenn $\alpha\delta\beta$ = aq genommen wird. Wellen also, deren Breite der Länge eines Secundenpendels (nahe 3 F. 8 Lin) gleich ist, werden in einer Secunde einen Raum durchlaufen, welcher so viel als die Länge dieses Pendels = 3,0583 F. beträgt, in einer Minute also 183,5 F.; die Geschwindigkeiten breiterer oder schmälerer Wellen ist diesemnach den Quadratwurzeln aus ihrer Breite proportional. Newton setzt hinzu, dafs diese Angaben nur dann strenge richtig sind, wenn man voraussetzt, dafs die Wassertheilchen in einer geraden Linie auf und niedersteigen, statt dafs in der Wirklichkeit dieses in einem Kreise geschieht. Andere Geometer haben die Wellen auf verschiedene Curven zurückgeführt, namentlich Poisson auf die Cycloide, ihre Untersuchungen sind aber zu sehr auf die Kenntnifs der höheren Analysis gegründet, als dafs sie sich in der Kürze leicht und verständlich darstellen lassen [1]).

[1]) Höchst wichtige Beiträge zur Kenntnifs der Wellen, sowohl in tropfbaren als auch in elastischen Flüssigkeiten haben die Untersuchungen der Gebrüder Weber geliefert; indefs erfordert der Gegenstand im Ganzen eine tiefer eingehende Betrachtung, als der Raum hier

Aehnliche Oscillationen, als die Wellen sind, mit noch bedeutend gröfseren Wirkungen, zeigt das Wasser, wenn es in verhältnifsmäfsig viel längeren als breiten, und zugleich an einem Ende sich verengenden Räumen eingeschlossen ist. Werden dann die Schwankungen bis auf beträchtliche Entfernungen ausgedehnt, und strömt dabei zugleich die gröfsere Wassermasse aus den weiteren Räumen in die engeren, so mufs es beträchtlich gehoben werden, und erzeugt nicht selten verheerende Ueberschwemmungen. Daher rühren die Erscheinungen der hohen Fluthen in Häfen und Strommündungen, namentlich an den Küsten der Ostsee (bei Petersburg) und der Nordsee, bei Triest nach anhaltendem heftigen Nordwinde (der sogenannten Bore) und an vielen Orten. Dahin gehören ferner die Seiches beim Genfersee, indem wahrscheinlich durch wechselnden Luftdruck auf die Oberfläche des Sees eine bedeutende Erhebung des Wassers bei Genf erfolgt [1]. Minder leicht zu erklären sind die bei vielen Flüssen verkommenden Erscheinungen, welche man das Rastern bei der Elbe, den Mascaret bei der Dordogne [2], Proroca beim Guama und Amazonenflusse [3] und sonst noch verschieden zu benennen pflegt. Das Wesentliche dieser Erscheinungen besteht darin, dafs eine oder mehrere Wellen mit einem sehr hörbaren, oft unglaublich starken, Getöse mehr oder minder schnell von der See aus stromaufwärts rollen, hauptsächlich über den Untiefen, und den Schiffen, ja sogar auch den Wasservögeln, durch die Gewalt ihres Angriffes auf dieselben sehr gefährlich werden. Manche Beschreibungen scheinen die Heftigkeit dieser Wirkungen zu übertreiben, weil man kaum begreift, welche Ursachen eine so schnelle Bewegung der stomaufwärts rollenden Wasserwellen und die hieraus entstehende Gewalt zu erzeugen vermögen. Sie entstehen meistens durch die bei niedrigem Wasserstande der Flüsse in diese eindringende Meeresfluth.

Eine interessante hydraulische Erscheinung bieten die Sprungkegel dar, deren Dan. Bernoulli [4]) zuerst im

gestattet. S. die Wellenlehre auf Experimente gegründet oder über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen. Von den Brüdern E. H. Weber und W. Weber. Leipz. 1825. 8.

1) S. De Saussure Voy. T. I. p. 12. Gilb. Ann. XXXIII. 355.

2) S. Bremontier in Journ. de Phys. LXXIX. p. 220. Vergl. Gilb. Ann. XXXIII. 407.

3) S. Com. Soc. Bonon. T. V. P. I. p. 250.

4) Hydrodyn. p. 132.

Allgemeinen gedenkt, welche aber durch Parrot [1]) deutlich beschrieben sind. Wenn man eine in zwei Schenkel aufwärts gebogene Röhre ABC mit Wasser oder einer sonstigen Flüssigkeit füllt, deren Niveau in $\alpha\beta$ liegt, das Wasser im Schenkel A durch Saugen oder ein sonstiges Mittel bis m hinaufbringt, so daſs es im andern Schenkel B bis p herabsinkt und so ruhig steht, dann die Ursache des gestörten Gleichgewichts plötzlich aufhebt, so wird das Wasser im Schenkel A herabsinken und im andern über das Niveau β steigen, jedoch die Höhe bis o nicht erreichen, wenn beide Schenkel gleich weit sind. Lezteres folgt aus dem, was § 41 erläutert ist, nämlich daſs das in einem Schenkel herabfallende Wasser im andern (abgeschnittenen) wegen der zu überwindenden Hindernisse der Bewegung nicht wieder so hoch steigt, als es herabgefallen ist; auf allen Fall aber steigt das Wasser im Schenkel B über das Niveau des Ruhestandes β. Ist der Schenkel A beträchtlich weiter als B, und war das Wasser im ersteren bis m gehoben, wobei es bedeutend unter p herabsinken muſste, so steigt es weit über o hinaus, wie sich daraus leicht erklärt, daſs dann die gröſsere Masse Wasser auf die kleinere bewegend wirkt; umgekehrt aber wird das Wasser im weiteren Schenkel A nur wenig, aber doch etwas, über das mittlere Niveau bei der Oscillation gehoben, wenn es im engeren Schenkel B vorher beträchtlich höher stand.

Fig. 38]

Etwas diesem ähnliches zeigen die von Parrot so genannten hydraulischen Sprungröhren, Sprungcylinder und Sprungkegel. Wenn man nämlich eine Röhre von beliebiger Weite (am besten 1 Zoll) und 2 F. Länge mit oben verschlossener Oeffnung lothrecht 1 F. tief ins Wasser senkt, dann oben schnell öffnet, so steigt das Wasser um etwa 9 Zoll über das Niveau. Beträgt die Weite der bis an ihr Ende ins Wasser eingesenkten Röhre etwa 2,5 Z., ist sie oben mit einer verschlieſsenden Platte versehen, in welcher sich ein 0,5 Z. weites Loch befindet, wird sie mit verschlossenem, oberen Loche 12 Z. tief lothrecht ins Wasser gesenkt und dann oben schnell geöffnet, so springt das Wasser bis 9 F. hoch aus dem Loche empor. Eben diese Höhe erreicht das Wasser, wenn man einen Kegel von gleicher Höhe einsenkt, dessen unterer Durchmesser 2,5 Z., der obere 0,5 Z. beträgt; und ist ein solcher oben verschlossen, aber mit einer um 45° gegen den Horizont geneigten Röhre von 5

[1]) Grundriſs d. theor. Physik. I. p. 393.

Lin. Durchmesser versehen, so springt das Wasser bis 13 F. Weite. Die Ursache dieser Erscheinung scheint mir in Folgendem zu liegen.

Wenn die oben verschlossene Röhre ins Wasser herabgesenkt ist, und die darin enthaltene Luft hindert das Eindringen des Wassers (wir wollen vorläufig annehmen gänzlich, obgleich die Luft der Wasserhöhe proportional zusammengedrückt wird und etwas Wasser eindringen läfst), so übt das umgebende Wasser gegen das unter der Oeffnung der Röhre befindliche einen seiner Höhe proportionalen Druck aus, und ertheilt ihm eine diesem Drucke, d. i. der Fallhöhe proportionale Geschwindigkeit, welche bekanntlich am unteren Ende dieser Höhe so stark ist, dafs sie, gleichbleibend, den Körper durch die doppelte Höhe in der nämlichen Zeit fallen machen würde (§. 25). Mit dieser Geschwindigkeit fängt das Wasser an aufzusteigen. Ist dann die Wassermasse in einen aufwärtsgebogenen, gleichweiten Schenkel einer Röhre eingeschlossen, wie bei den zuerst beschriebenen Versuchen, so erreicht das aufsteigende Wasser nicht die Höhe, von welcher es herabfiel, und bei Fontainen (§. 41) ist dieses gleichfalls nicht der Fall, weil das Wasser, wenn es mit der durch die Fallhöhe = h erlangten Geschwindigkeit zu steigen anfängt, auf gleiche Weise verliert, mithin nur bis zur Höhe = h wieder steigen kann, aber auch diese wegen vorhandener unvermeidlicher Hindernisse der Bewegung nicht erreicht. Die auf die angegebene Weise eingesenkte Röhre aber ist am unteren Ende überall von Wasser umgeben, welches einen der Höhe proportionalen Druck ausübt, und dadurch eine der doppelten Fallhöhe zugehörige Geschwindigkeit ertheilt. Diesemnach müfste also das Wasser in der 12 Z. tief eingesenkten Röhre 12 Z. über das Niveau steigen, wenn nicht die Adhäsion an den Wänden dieses hinderte, und insbesondere diejenige Verzögerung, welche daraus entsteht, dafs die mit der angegebenen Kraft drückenden, das untere Ende der Röhre umgebenden Wassertheile selbst in die Röhre dringen, und dadurch den anderen nachfliefsenden Raum geben; eine Verzögerung, welche auch durch eine unendliche Weite des Wassergefäfses aus begreiflichen Gründen nicht aufgehoben werden kann. Diesemnach erhebt sich das Wasser bei 12 Z. Einsenkung nur etwas mehr als 9 Z. über das Niveau. Bei den Sprungcylindern und Sprungkegeln wirkt dann die ganze in dieselben eindringende Wassermasse auf den kleineren durch die Oeffnung springenden Theil. Sollte hierbei die Wirkung den

Kräften völlig gleich seyn, also das Wasser so hoch emporgeschleudert werden, als die angegebenen Bedingungen mit sich bringen, so müſste die Sprunghöhe bei 1 F. Einsenkung, einer unteren Weite von 2,5 Z. und einer Weite des Loches von 0,5 Z. eine Höhe = 25 F. erreichen, weil die Massen sich wie die Quadrate der Durchmesser, also $2,5^2 : 0,5^2 = 6,25 : 0,25$ verhalten. Es ist indeſs nicht der Mühe werth die Gründe anzugeben, warum das Wasser nicht die Hälfte dieser Höhe erreicht. Parrot glaubt, daſs hauptsächlich die Elasticität des Wassers, welche demselben allerdings nicht abzusprechen ist, diese Erscheinung bedinge.

An diese Erscheinungen schlieſsen sich zunächst diejenigen an, welche der Stoſsheber oder hydraulische Widder[1] (bélier hydraulique) darbietet. Joseph Montgolfier, der Erfinder desselben, hat ihn gleich anfangs in groſser Vollkommenheit ausgeführt, seitdem aber ist er weit weniger zur praktischen Anwendung gekommen, als er wahrscheinlich verdient. Im Wesentlichen ist seine Construction fol-
Fig. 40.] gende. Eine mit einem verticalen Schenkel versehene, oder durch ihre Neigung gegen den Horizont einen Fall des Wassers erzeugende, Röhre ACB oder AB von verhältniſsmäſsig beträchtlicher Länge und Weite führt nicht bloſs das Wasser herzu, sondern dasselbe erhält auch durch seine Masse und die Fallgeschwindigkeit eine gewisse Kraft (Moment der Bewegung, quantitas motus), vermöge deren es in der erhaltenen Geschwindigkeit zu beharren strebt. An dieser Röhre befindet sich das Gefäſs D mit zwei Ventilen, dem einen bei e, welches durch ein Gewicht so balancirt ist, daſs es im gewöhnlichen Zustande offen steht, das andere bei g, welches durch sein eigenes Gewicht und das des Wassers in der Röhre dh verschlossen wird. Diesemnach muſs das in der Röhre AB flieſsende Wasser zum Theil bei e ausflieſsen, und hierdurch die seinem Falle angemessene Geschwindigkeit erhalten, bis es das Ventil e in seine Bewegung hineinzieht, dasselbe schlieſst, und die dadurch gehemmte Kraft der Bewegung gegen das Ventil g wendet, dieses öffnet, und eine dieser Kraft der Bewegung proportionale Höhe in der über demselben befindlichen

1) Es ist zu bedauern, daſs dieser interessante hydraulische Apparat zwei so unpassende Namen erhalten hat; denn mit einem Heber hat er gar nichts Wesentliches gemein, und mit einem Widder, von dem Widderkopfe der Mauerbrecher bei den Römern hergenommen, hat er nur eine kaum aufzufindende Aehnlichkeit.

Röhre dh erreicht. So wie es hierdurch aber zum Stillstande kommt, öffnet sich das Ventil bei e wieder, und der Procefs beginnt abermals, und so im unausgesetzten Wechsel der Oscillationen. Die Röhre hd kann mit einem Windkessel versehen werden, um einen stets fliefsenden Wasserstrahl zu erhalten; die Röhre AB wird genügend aus vier Brettern zusammengesetzt, wirkt aber so viel stärker, je länger und geneigter sie ist, und aufserdem scheint es mir für die Praxis höchst wichtig, das Ventil g so tief zu legen, dafs sich unter demselben keine Luft ansammelt, deren Elasticität so zunehmen kann, dafs sie dem Stofse des Wassers gegen das Ventil gerade gleich ist, und dieses sich daher nicht weiter öffnet [1]).

Da der Bau des Stofshebers leicht und sein Mechanismus sehr einfach ist, so verdiente derselbe wohl ohne Zweifel, dafs die Theorie durch Erfahrung geprüft würde, um die erforderlichen Regeln für eine zweckmäfsige Construction desselben zu erhalten, indem er in vielen Stücken einen entschiedenen Vorzug vor allen hydraulischen Wasserhebemaschinen hat. So viel leuchtet von selbst ein, dafs nach allgemeinen mechanischen Gesetzen die gehobene Wassermenge der Höhe, bis auf welche dieselbe gefördert wird, umgekehrt proportional seyn mufs. Aus unvollkommenen, von mir selbst angestellten, Versuchen scheint mir dieser Apparat vorzüglich für diejenigen Fälle geeignet zu seyn, in denen eine grofse Menge Wasser zu geringer Höhe gehoben werden soll, z. B. bei der Bewässerung der Felder und Wiesen. Die Hauptsache beruhet dann blofs auf einer gehörigen Einrichtung des Ventiles e, damit dasselbe sich stets regelmäfsig öffne, und nicht durch den Wasserdruck geschlossen bleibe.

Die vielen anderweitigen hydraulischen Maschinen, als namentlich die Archimedeische Wasserschraube, die Spiralmaschinen, Schaufel- und Paternosterwerke, Druckwerke, Wassersäulen-Maschinen und viele andere können hier nicht erläutert werden, indem ihre Beschreibung nebst der Berechnung ihres Effectes den Werken über Hydrodynamik und Hydrotechnik überlassen bleibt. Dafs dabei die angegebenen, hydrostatischen und hydraulischen Gesetze in Anwendung kommen, versteht sich von selbst.

[1]) S. Eytelwein Bemerkungen über die Wirkung und vortheilhafte Anwendung des Stofshebers. Berl. 1805. Langsdorf in Münchener Denkschr. für 1809 u. 10. Wrede Grundrifs einer Theorie des Stofshebers. Berl. 1815.

Eine der schwierigsten hierher gehörigen Lehren ist die vom Stofse und Widerstande des Wassers, dem ersteren, in sofern derselbe hauptsächlich dazu benutzt wird, um Körper durch die Kraft des bewegten Wassers in Bewegung zu setzen, dem lezteren zur Bestimmung der Kraft, welche erfordert wird, um Körper von gegebener Ausdehnung und Form mit der verlangten Geschwindigkeit gegen das Wasser zu bewegen. Die Gesetze hierüber kommen hauptsächlich in Betrachtung bei der Construction der Wassermühlen und bei der Bewegung der Schiffe nebst ihrer Lenkung durch das Steuerruder. Wegen der Wichtigkeit dieser Aufgaben sind zahllose theoretische Untersuchungen und durch Versuche ausgemittelte Erfahrungen hierüber bekannt geworden; weil es aber zu weit führen würde, hier nur die daraus erhaltenen Resultate dem Hauptinhalte nach anzugeben, so möge folgende am meisten gangbare Darstellung genügen.

Wenn das bewegte Wasser irgend einen beweglichen Körper vor sich her treibt oder fortstofst, so kommt die Geschwindigkeit in Betrachtung, welche es vermöge seiner eigenen Masse und Geschwindigkeit dem Körper ertheilt, oder das Gewicht, welches durch dasselbe überwunden wird. In beiden Fällen läfst sich eine Wassersäule annehmen, welche durch den Fall von einer gegebenen Höhe eine gewisse Geschwindigkeit erhält, oder im Verhältnifs zu der gegebenen Stofsfläche mit einem aus der Fallhöhe bestimmten Gewichte gegen diese drückt. Wäre demnach die Höhe des drückenden, oder in dem vorliegenden Falle einen jenem Drucke gleichen Stofs ausübenden Wassers $= h$, die zu bewegende Fläche $= a^2$, so würde (§. 40) der Druck des Wassers durch die Formel $= a^2 h$ ausgedrückt werden. Nach den Fallgesetzen (§. 28) ist aber das Verhältnifs der Geschwindigkeit zur Fallhöhe durch die Formel $v = 2\sqrt{g h}$ gefunden, woraus $h = \frac{v^2}{4g}$ folgt; und da $4g = 60$ F. ist, so findet man $h = 0{,}0167\ v^2$. Wird also das Quadrat der Geschwindigkeit des fliefsenden Wasser mit der Quadratfläche des gestofsenen Körpers in par. Füfsen und mit der beständigen Gröfse 0,0167 und endlich mit 70, als dem Gewichte eines par Cub. F. Wasser multiplicirt, so giebt dieses das Gewicht des stofsenden Wassers in Pfunden; oder da $\frac{70}{60} = 1{,}1666$ ist, so giebt die

Formel $K = 1{,}1666\ a^2\ v^2$ die Stofskraft des Wassers gleichfalls in Pfunden, wenn die übrigen Gröfsen in par. Fufs genommen werden. Trifft der Stofs des Wassers die zu bewegende Fläche nicht in gerader Richtung, so kann er seine Kraft nicht ganz äufsern, da dieselbe rücktsichtlich der zu erzeugenden Bewegung vielmehr $= 0$ wird, wenn der Wasserstrom mit der Fläche parallel ist. Die Richtung des Wasserstromes kann also als die Diagonale von zwei bewegenden Kräften angesehen werden, wovon die eine der gestofsenen Fläche parallel und also $= 0$, die andere aber lothrecht auf dieselbe gerichtet ist (§. 23); und indem die leztere dem Sinus des Neigungswinkels mit der gestofsenen Fläche gleich ist, so wird hiernach $K = 1{,}1666\ a^2\ v^2 \sin. \varphi$, wenn φ diesen Neigungswinkel ausdrückt. Die Erfahrung stimmt indefs mit dieser Formel nur dann genau überein, wenn eine sehr breite Wasserfläche einen einzelnen Körper trifft, welcher dem Wasserstrome eine weit kleinere Fläche entgegensetzt, und der Neigungswinkel nicht kleiner als 60^0 ist; dagegen wird K in der Wirklichkeit gröfser gefunden, als nach der Rechnung, wenn eine gröfsere Fläche durch einen kleineren Wasserstrom, und wenn die Fläche unter einem kleineren Winkel getroffen wird.

Wenn Steine und Felsblöcke durch den Strom des Wassers fortgerissen werden, so läfst sich die gestofsene Fläche dem Quadrate ihrer Durchmesser proportional setzen, wenn ihre Masse dem Cubus derselben proportional angenommen wird. Indem ferner ein par. Cubikfufs Wassers = 70 ℔ wiegt, das spec. Gewicht der Körper aber ihr absolutes Gewicht bedingt, und sie im Wasser so viel verlieren, als das durch sie verdrängte Wasser wiegt, so läfst sich hiernach in genäherten Werthen die Geschwindigkeit finden, womit das Wasser gegen sie stofsen mufs, um sie in Bewegung zu setzen. Wird nämlich in der gefundenen Formel statt a der Durchmesser = d gesetzt, und heifst das spec. Gewicht des Körper $= \Pi$, so mufs $1{,}666\ d^2\ v^2 = d^3 (\Pi - 1)\ 70$ ℔. seyn, also $v^2 = \frac{d\,(\Pi - 1)\ 70}{1{,}1666}$, welches nahe genau $= 8 \sqrt{d\,(\Pi - 1)}$ giebt. Wenn daher das spec. Gewicht der gewöhnlichen Rollsteine = 2 genommen werden kann, wonach also $\Pi - 1 = 1$ wird, so ergiebt die Formel, dafs das Wasser 8 F. Geschwindigkeit in 1 Sec. haben mufs, um solche Steine von 1 F. Durchmesser fortzustofsen, und dafs die Geschwindigkeit des Wassers

den Quadratwurzeln der Durchmesser der fortzustofsenden Steine proportional zunehmen mufs. Um die Steine blofs fortzurollen, oder sie auf schlüpfrigem Grunde forszustofsen, wird gewifs eine weit geringere Geschwindigkeit erfordert. Die gröfste beobachtete Geschwindigkeit des fliefsenden Wassers war die im Bagnithale, und betrug 32 F. in einer Secunde, welche hiernach also Steine von 16 F. Durchmesser bei hinlänglicher Breite des Stromes zu bewegen vermogt hätte. Hierauf beruhet der Procefs des Schlemmens der gepochten Erze, deren metallische Theile liegen bleiben, während die leichteren steinigen und erdigen vom Wasser fortgeführt werden. Eben so ist es bei den Goldwäschen. Die gröfsten Steine, welche die Flüsse bei ihrer mittleren Geschwindigkeit von 3 F. fortzuschieben vermögen, dürfen nicht mehr als 0,6 F. Durchmesser haben, und auch diese werden am Boden liegen bleiben, wo die Geschwindigkeit geringer ist, und sie einen Theil ihrer Oberfläche durch Einsinken in den Sand dem Wasserstofse entziehen, statt dafs der Sand unausgesetzt fortgerollt wird.

Das angegebene Gesetz findet hauptsächlich Anwendung bei den unterschlächtigen Wasserrädern der Mühlen, wobei indefs die Kraftäufserung des fliefsenden Wassers so viel geringer seyn mufs, je schneller die Bewegung des Mühlrades ist, indem sie = 0 oder gar negativ werden müfste, wenn die Bewegung der Radschaufeln gleich schnell oder schneller als die des Wassers wäre. Es ist daher besser, den Wasserrädern eine geringere Geschwindigkeit zu geben, das Wasser dagegen mit so viel gröfserer Kraft gegen die Schaufeln wirken zu lassen, und durch die hierdurch erzeugte stärkere Wirkung andere Räder in gröfsere Geschwindigkeit zu versetzen.

Da es im Wesentlichen einerlei ist, ob das Wasser gegen die Körper bewegt wird oder umgekehrt, so müfsten sich die angegebenen Gesetze ohne Weiteres auch auf das Leztere anwenden lassen. Im Allgemeinen ist dieses zwar der Fall; allein da die Bewegung der festen Körper gegen das ruhende oder bewegte Wasser fast ohne Ausnahme in gröfseren Wassermassen statt findet, wobei das fortgestofsene Wasser um die Grenzen des Körpers herum, und rückwärts wieder zufliefst, so erleiden die Gesetze eine nicht unbedeutende Abänderung durch die Form der bewegten Körper. Eine genaue Erörterung dieser Sache würde indefs zu weit führen, in den meisten Fällen aber giebt das aufgestellte Gesetz hinlänglich genäherte Resultate. Anwen-

dungen geben hauptsächlich die Ruder und die Schiffe. Aus der Formel $K = 1,1666\ a^2\ v^2\ \sin.\ \varphi$ geht unmittelbar hervor, daſs die durch den Ruderschlag erzeugte Kraft zur Forttreibung eines Botes der Gröſse der Ruderfläche, dem Quadrate der Geschwindigkeit, womit es bewegt wird, und der Gröſse des Sinus des Winkels, in welchem es gegen das Wasser stöſst, direct proportional ist. Den Schiffen giebt man einen solchen Bau, daſs der Widerstand des Wassers gegen das Vodertheil, indem jenes von diesem durchschnitten wird, so klein als möglich sey, und hierin liegt eine hauptsächliche Bedingung ihres schnellen Segelns. Bei Dampfschiffen muſs durch die Kraft der bewegten Räder, also durch den Widerstand, welchen das Wasser den Schaufeln derselben entgegensetzt, der Widerstand des Schiffes überwunden werden, und für beide ist die erzeugte Kraft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional. Dabei muſs dann auch noch die mit dem Schiffe oder gegen dasselbe stattfindende Bewegung des Wassers, worin das Schiff bewegt wird, in Rechnung genommen werden, und es versteht sich von selbst, daſs diese im ersteren Falle der durch die Schaufeln erzeugten Geschwindigkeit hinzu zu addiren, im lezteren aber davon abzuziehen ist [1].

C) Aerometrie.

§. 48.

Die atmosphärische Luft, welche das Erdsphäroid umgiebt, und wegen ihrer Schwere als integrirender Theil sie bei ihrer Bewegung im Weltraume nicht verläſst, ist eine schwere und zugleich expansibele Flüssigkeit, welche als solche sowohl statisch als auch mechanisch wirkt. Die Erscheinungen, welche aus dem Ersteren folgen, lassen sich unter der Aerostatik begreifen, diejenigen, welche aus dem Lezteren abgeleitet werden, wollen wir unter der Pneumatik zusammenstellen.

---

[1]) Die leichteste Darstellung dieser interessanten Aufgabe liefert, so viel mir bekannt ist, Tredgold in Edinb. Phil. Journ. XIII. 250. Es scheint mir indeſs nicht geeignet, hier ausführlicher darüber zu handeln.

Von der Anwesenheit der atmosphärischen Luft und der ihnen ähnlichen elastischen und expansibelen Flüssigkeiten überzeugt uns ihr Widerstand gegen Körper, welche in sie eindringen wollen, vor allen die Taucherglocke [1], so wie die Kraftäufserung derselben bei ihrer Bewegung.

Eigentlich bedarf es keines Beweises für das Daseyn der Gas- und Luftarten, deren Gesetze einen wichtigen Theil der Naturlehre ausmachen; inzwischen kann bemerkt werden, dafs in den Bestimmungen des gemeinen Lebens ihre Anwesenheit wegen ihrer geringen Dichtigkeit in Vergleichung gegen andere Körper oft übersehen wird. Fragt man z. B. nach dem Inhalte einer Flasche, worin sich nichts weiter als Luft befindet, so heifst es meistens, sie sey leer. So gut übrigens das Daseyn der atmosphärischen Luft durch die Erscheinungen bei der Taucherglocke *(campana urinatoria)* bewiesen zu werden pflegt, kann dieses auch mit einem jeden in eine Wassermasse umgekehrt untergetauchten Glase geschehen; allein jene Apparate sind an sich einer kurzen Beschreibung werth. Ehemals gab man denselben die Form der Glocken, jezt aber macht man sie zu gröfserer Bequemlichkeit länglicht vierkantig, nach oben verjüngt. Hauptsächlich ist ihre Anwendung in England beim Hafenbaue üblich. Sie werden aus Gufseisen von mehrzölliger, des statischen Gleichgewichts (§. 42) wegen hauptsächlich unten sehr starker Metalldicke verfertigt, sind unten an der Oeffnung 8 bis 12 F. lang, 6 F. und darüber breit und eben so hoch. Im Innern befindet sich eine Bank, damit die Arbeiter sich darauf setzen und ihre Werkzeuge nebst den Gegenständen, die sie bei den Arbeiten unter dem Wasser bedürfen, darauf legen können, auch haben sie zuweilen eine eigene Abtheilung für einen Aufseher; oben auf dem Deckel befindet sich an beiden Seiten ein starker metallener Halter, um die Haken der Ketten hineinzuhängen, welche zur Erhaltung des Gleichgewichts in eine einzige starke Kette vereint zum Tragen des schweren Apparates dienen. In der Mitte befindet sich eine Oeffnung mit einem eingeschrobenen biegsamen Schlauche, durch welchen auf dem Lande vermittelst einer starken Compressionspumpe sogleich, nachdem man angefangen hat, die Taucherglocke im Wasser herabzulassen, unausgesetzt frische Luft hineingeprefst wird, und zwar in solcher Menge,

---

[1]) S. mém. sur une nouvelle machine a plonger, appelle Triton. par F. de Drieberg. Par. 1811.

dafs die Blasen unter dem Rande des überfüllten Apparates stets entweichen. Hierdurch begegnet man nicht blofs dem Verderben der eingeschlossenen Luft, sondern auch dem Eindringen des Wassers in den inneren Raum, wenn die abgesperrte Luft durch den starken Druck der umgebenden Wassersäulen comprimirt wird, und wenn dann die Taucherglocke auf eine horizontale Ebene niedersinkt, so ist der Boden nicht mit einer Wasserschicht von mefsbarer Tiefe bedeckt. An beiden Seiten des eingeschrobenen Schlauches sind runde Oeffnungen mit luftdicht eingesetzten hinlänglich starken Gläsern, um Licht in den Apparat zu bringen. Gröfserer Stärke wegen nimmt man meistens convexe Linsen; allein es bedarf bei ihnen keiner so grofsen Stärke, da die von Aufsen auf sie drückende Wassersäule den Druck der comprimirten Luft im Innern compensirt, bis auf denjenigen Theil, welcher einer Wassersäule von der Höhe der Taucherglocke zugehört, denn um so viel ist der Druck gegen die eingeschlossene Luft gröfser. Endlich halten die Arbeiter noch ein unter dem untern Rande hingehendes, nach oben geführtes Seil, um damit die erforderlichen Zeichen zu geben [1].

Die der atmosphärischen Luft beigelegten wesentlichen Eigenschaften, nämlich Flüssigkeit, Schwere und Elasticität fallen von selbst auf. Flüssig müssen wir sie nennen, weil sie fliefst, wie namentlich bei allen Luftbewegungen, jedoch bildet sie keine Tropfen, und kann daher nicht tropfbar heifsen. Ihre Schwere zeigt sich darin, dafs sie die Erde nicht verläfst, was geschehen müfste, wenn sie dem Bestreben nach Expansion allein folgte; die Elasticität derselben endlich kündigt sich von selbst durch eine Menge auffallender Erscheinungen an, namentlich schon bei den Knallbüchsen der Kinder, dem Zertreten der Fischblasen u. s. w. Aus den beiden ersten Eigenschaften folgen die meisten statischen Gesetze derselben, die leztere liegt hauptsächlich den pneumatischen zum Grunde.

Nicht unwichtig ist es übrigens, bei allen diesen Untersuchungen die Vorstellung festzuhalten, dafs die aus der atmosphärischen Luft gebildete Atmosphäre unserer Erde diesen ihren Körper nicht verläfst, sondern eben so gut einen integrirenden Theil derselben ausmacht, als das Wasser, und demnach an ihrer Rotation um die Axe und ihrer Be-

[1]) Vergl. Phil. Magaz. LXVIII. 43. Dingler Polytechnisches Journal XVIII. 176.

wegung im Weltraume Theil nimmt, wobei sie jedoch, als die specifisch leichtere Flüssigkeit, stets ihre Stelle über dem schwereren Wasser einnimmt. Es ist daher eine (obgleich selten, doch mitunter gehegte) falsche Vorstellung, als ob die Erde in der Luft gleichsam schwimmend sey; vielmehr würde die Luft, wenn wir die Erde als eine Kugel von 1 F. Durchmesser darstellen, kaum 6 Lin. hoch ihre Oberfläche umgeben, wenn wir bis dahin rechnen, wo sie dünner ist, als das Vacuum unter den Campanen unserer besten Luftpumpem [1]).

Die statischen und mechanischen Gesetze, welche hier über die atmosphärische Luft aufgestellt werden, sind auf alle Expansibilien, namentlich die Gasarten und Dämpfe, anwendbar. In sofern Ausnahmen hiervon statt finden, werden diese besonders angegeben werden.

1) Aerostatik.

§. 49.

Vermöge der Schwere mufs die Luft gegen alle Körper einen Druck ausüben, welcher unter Voraussetzung gleichmäfsiger Dichtigkeit dem Gewichte einer Säule von der gegebenen Fläche und der Höhe bis an die Grenze der Atmosphäre gleich ist. Man kann diesen nicht unmittelbar nach den angegebenen Gröfsen messen, sondern findet ihn aus dem Gegendrucke gegen andere Körper, namentlich gegen tropfbare Flüssigkeiten.

Dafs die atmosphärische Luft schwer sey, folgt schon aus dem oben §. 43 angeführten Verfahren, wonach man ihr absolutes und specifisches Gewicht dadurch findet, dafs man einen geeigneten Ballon zuerst leer und dann mit Luft erfüllt wiegt. Ist aber die atmosphärische Luft eine schwere Flüssigkeit, so mufs sie mit Rücksicht auf ihr geringeres Gewicht die gesammten statischen Erscheinungen zeigen, welche im vorhergehenden Abschnitte aus der Natur der tropfbaren Flüssigkeiten gefolgert sind, namentlich mufs sie einen der Höhe bis zu ihrer Grenze und ihrer Dichtigkeit

---

[1]) Ueber die Höhe der Atmosphäre S. §. 262. Die angegebene Vorstellung des Verhältnisses der Atmosphäre zur festen Erde erleichtert sehr die deutliche Einsicht vieler Erscheinungen.

proportionalen Druck nach allen Seiten hin ausüben. Weil es indeſs ungleich schwieriger ist, als bei tropfbaren Flüssigkeiten, Körper in sie einzusenken, welche bloſs einseitig von ihr umgeben sind, indem sie nur unter dieser Bedingung jene Wirkungen eben wie die tropfbaren Flüssigkeiten zu äuſsern vermag, die Grenze der atmosphärischen Luft aber überall nicht erreicht, also ihre Höhe auch nicht gemessen werden kann, so blieb die Kenntniſs dieses Druckes lange Zeit unbekannt, obgleich er aus der Theorie nothwendig folgt, und schon Aristoteles vom Gewichte der Luft geredet hatte. Dieser Druck zeigt sich übrigens sehr häufig bei tropfbaren Flüssigkeiten, welche aus überall verschlossenen, und nur an einer Stelle offenen Gefäſsen nicht ausflieſsen können, wenn die spec. leichtere Luft nicht nach statischen Gesetzen ihren Platz über denselben einzunehmen vermag, z. B. beim Ausgieſsen aus Gläsern mit sehr enger Mündung und beim Füllen derselben; bei Fässern mit verschlossenem Spuntloch; beim Stechheber; der Nicolaischen Reise-Schreibfeder; den Lampen des Cardanus; den künstlichen Dintefässern. Auch beruhen hierauf mehrere Künsteleien, als der magische Trichter, Sturms intermittirender Brunnen, das Sieb der Vestalinnen, der Oelkrug der Wittwe zu Zarpath, die Zauberkanne u. a. m.

Da bei weitem die gröſsere Zahl derjenigen Erscheinungen, welche bloſs aus dem statischen Drucke der Luft erklärt werden können, den Alten schon bekannt war, und die Erklärung derselben so nahe bei der Sache liegt, so muſs man sich wundern, daſs statt dessen eine unbekannte Kraft *(qualitas occulta)*, welche man den Abscheu der Natur am leeren Raume *(horror vacui)* nannte, als die Ursache jener Erscheinungen angesehen wurde. Der Grund eines solchen Miſsgriffes liegt offenbar in der Neigung der Menschen, das Unbekannte zu erforschen, wodurch sie vermogt werden können, selbst da etwas Verborgenes zu suchen, wo die Sache in völliger Klarheit vorliegt. Zudem ist es bei vorherrschender Phantasie ungleich leichter, die Phänomene auf eine unbekannte Kraft zurückzuführen, als statische und mechanische Gesetze aus den Erfahrungen sich klar vorzustellen und geometrisch zu demonstriren, woraus es denn erklärlich wird, daſs der Luftdruck als Ursache so vieler bekannten Erscheinungen ganz neuerdings von Einigen wieder in Zweifel gezogen wurde, um abermals eine unbekannte Kraft an dessen Stelle zu setzen. Uebrigens geben jene auffallenden Miſsgriffe ein warnendes Beispiel, wie gefährlich

es sey, bei der Erklärung der Naturphänomene sogleich zu Kräften, hauptsächlich zu unbekannten, seine Zuflucht zu nehmen.

Evangelista Torricelli war der erste, welcher das Gesetz vom Luftdrucke richtig erkannte. Als nämlich ein Gärtner zu Florenz durch eine Saugpumpe das Wasser über 40 Palmen hoch in die Höhe heben wollte, und dieses nicht erreichen konnte, sollte der berühmte Erfinder des Fallgesetzes, Galileo Galilei, die Ursache hiervon angeben, und kam durch altes Vorurtheil befangen auf die Idee, der Abscheu gegen den leeren Raum habe bestimmte Grenzen, über welche hinaus er nicht wirken könne [1]). Sein Schüler, der genannte Evangelista Torricelli, stellte die Versuche nicht blofs mit Wasser an, wie bis dahin geschehen war, sondern auch mit Quecksilber, fand die Höhen, bis wohin beide Flüssigkeiten sich aufsaugen liefsen, ihren specif. Gewichten umgekehrt proportional, folgerte hieraus den Einflufs des Gewichtes der Flüssigkeiten auf die fraglichen Erscheinungen, und erkannte im Jahre 1643 die wahre Ursache derselben, als er fand, dafs das Quecksilber in den luftleeren Röhren wieder herabsank, wenn die auf die äufsere Quecksilberfläche drückende Luft durch Saugen weggenommen wurde. Pascal war 1645 noch Anhänger der älteren Vorstellung, schlofs aber sehr richtig, dafs die Gröfse des Luftdruckes mit zunehmender Höhe abnehmen müsse, wenn aus diesem die fraglichen Erscheinungen erklärt werden sollten, und veranlafste 1649 seinen Schwager Perrier mit der torricellischen Röhre (einer mit Quecksilber gefüllten und in ein Gefäfs mit Quecksilber eingetauchten lothrechten Glasröhre von etwa 30 Zoll Länge) auf den Puy de Dome zu steigen. Als hierbei das Quecksilber in der Röhre niedriger stand, und Pascal sich durch einen eigenen Versuch auf dem Thurme der Kirche St. Jaques in Paris von dieser Wahrheit überzeugt hatte, war die Sache nicht weiter zweifelhaft.

Die nächste Anwendung dieses Gesetzes geben die Saugpumpen, bei denen es zuerst entdeckt wurde. Im Wesent-
Fig. 41] lichen bestehen diese aus einem Stiefel A B, dessen innerer Raum nach hydrostatischen Gesetzen cylindrisch oder

[1]) Dafs der grofse Geometer diese Erklärung nicht aus Moquerie über seine Zeitgenossen gegeben habe, wie Biot in Traité de Phys. I. 69. annehmen will, liegt, wie mich dünkt, eben so sehr in der Natur der Sache, als es aus der Geschichte der Verhandlungen folgt. Vergl. Gehler Wört. I. p. 782.

kantig, gleichmäſsig oder ungleichmäſsig weit, gerade oder gebogen seyn kann, in welchen der Embolus n vermittelst der Stange p auf- und abwärts beweglich ist. Unter dem Wasserspiegel $\alpha\beta$ ist der Stiefel durch die Ausfüllung m abgesperrt, und hat meistens unter diesen seitwärts gehende Löcher, um dem Wasser das Eindringen zu gestatten. Der Embolus n und das Absperrungsstück m sind in der Mitte durchbohrt, und werden diese Oeffnungen durch die Ventile a und c verschlossen. Diese Ventile sind bei den Wasserpumpen meistens Klappenventile, d. h. runde, etwas über den Rand der bedeckten Oeffnungen überstehende Scheiben, in der Regel von Metall und auf die Unterlage aufgeschliffen, oder unten mit einer Lederscheibe belegt, damit sie dicht aufliegen und dem Wasser den Rückgang versperren. Sonst wird auch die Oeffnung in m und n oben kugelförmig oder muschelförmig ausgehöhlt, und ein Metallkörper von gleicher Gestalt eingeschliffen, nach welcher Form dann jene Ventile Klappenventile, diese Kugel- oder Muschel-Ventile heiſsen; in jedem Falle, meistens durch einen in die Oeffnung herabgehenden Sift, ist dafür gesorgt, daſs die gehobenen Ventile sich nicht verschieben können, sondern stets in die zur dichten Schlieſsung erforderliche Lage wieder zurücksinken müssen.

Die Wirkung der Saugpumpen folgt sehr einfach aus dem aufgestellten Gesetze. Wird nämlich der Embolus n vermittelst der Stange p herabgedrückt, und die zwischen n m befindliche Luft in einen kleineren Raum gepreſst, so wächst ihre Elasticität, und ein Theil derselben entweicht durch das Ventil c; so wie man aber den Embolus n wieder in die Höhe zieht, ist der Luftdruck auf das über m stehende Wasser geringer, als auf die Wasserfläche $\alpha\beta$, und es dringt daher ein aliquoter Theil durch m, bis das Gewicht des über m gehobenen Wassercylinders nebst dem einer Luftsäule von der Dichtigkeit der zwischen n m eingeschlossenen Luft dem Gewichte der auf $\alpha\beta$ drückenden Luftsäule gleich ist. Wird diese abwechselnde Bewegung des Embolus (das Kolbenspiel) fortgesetzt, so füllt sich endlich der ganze Raum zwischen m n mit Wasser, wovon ein Theil beim Niedergehen des Embolus durch die Oeffnung in demselben aufsteigt, durch das Ventil c abgesperrt und gehoben wird, bis es die erforderliche Höhe erreicht hat, um bei g abzufliessen. Der Luftdruck auf $\alpha\beta$ beträgt (§. 51) im Mittel nur so viel, als das Gewicht einer Wassersäule von 32 par. F., und hieraus folgt, daſs bei genauester Arbeit der Raum

zwischen $\alpha\beta$ und c nicht mehr als diese Gröſse betragen darf, weil der Druck der hierin befindlichen Wassersäule, vermehrt um den Druck der darauf ruhenden Luftsäule, nicht gröſser seyn darf, als der Druck der Luftsäule auf $\alpha\beta$. Zugleich geht aus der Theorie unmittelbar hervor, daſs es rücksichtlich der zum Heben des Wassers erforderlichen Kraft keinen Unterschied macht, ob die lothrechte Höhe des Raumes zwischen nm groſs oder gering ist, indem durch den Embolus in jedem Falle das Gewicht einer Wassersäule gehoben werden muſs, deren Basis durch die Fläche des Embolus n und die Höhe durch den lothrechten Abstand von $\alpha\beta$ bis g gegeben ist. Daſs das Gewicht der verlängerten Stange p zum ganzen Gewichte hinzukomme, wenn der Embolus n sich nahe über $\alpha\beta$ befindet, leuchtet von selbst ein, auch ergiebt sich leicht, daſs die Wassersäule über n jede beliebige, durch die vorhandene Kraft überwindliche Höhe haben, mithin daſs das Wasser vermittelst solcher einfacher Pumpen aus jeder gegebenen Tiefe gehoben werden könne, nur darf der lothrechte Abstand von $\alpha\beta$ bis n nicht gröſser als 32 par. F. seyn. Daſs man übrigens zur Bewegung der Stange p auch einen Hebelarm anbringen und hiernach dieselbe erleichtern könne (§. 36), daſs ferner eine den Hebel bewegende lothrecht herabgehende, lange, nach Art eines Pendels schwingende, Stange mit einem schweren, am unteren Ende befindlichen, Gewichte diese Bewegung erleichtere (§. 30), ergiebt sich, wie manches andere, aus den physikalischen Principien der Bewegungslehre.

Auf das Princip, daſs der Druck der atmosphärischen Luft die tropfbaren Flüssigkeiten bis zu Höhen erhebt, welche ihren specifischen Gewichten umgekehrt proportional sind, man hiernach also die Höhe des reinen Wassers als Einheit annehmen und danach aus den Höhen das specif. Gewicht der Flüssigkeiten bestimmen könne, hat Muschenbroek [1]) einen Apparat gegründet, welcher nachher durch Lichtenberg [2]) eine Verbesserung erhielt, später aber durch Scannegatti [3]) mit dem Namen *Hygroklimax* belegt und von Achard [4]) sehr empfohlen wurde. Fig. 42] Derselbe besteht aus einem Bodenbrette AB mit

[1]) Introd. ad Phil. Nat. II. §. 1305.
[2]) Gotha'sches Mag. I. 47.
[3]) Journ. de Ph. XVII. 82. Goth. Mag. I. 45.
[4]) Vorlesungen üb. d. Experimentalphys. I. 164.

zwei Tragsäulen p; q, auf denen der horizontale hohle Träger CD ruhet. Aus diesem gehen die in gleiche Theile getheilten lothrechten Glasröhren von beliebiger Zahl, ab; cd; ef; gh in die Gefäfse b; c; f; h herab, welche mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt sind. Wird dann oben die luftleere Kugel E auf den luftdichten Canal CD, aus welchem die Röhren herabgehen, aufgeschraubt und der Hahn α etwas geöffnet, so nimmt die Kugel aus den Röhren die Luft über den Flüssigkeiten in den Gefäfsen weg, und der fortdauernde äufsere Luftdruck treibt sie bis zu einer ihrem spec. Gewichte umgekehrt proportionalen Höhe in den Glasröhren empor, aus welcher ihr spec. Gewicht bebestimmt werden kann. Vor einigen Jahren hat Mester das nämliche Instrument unter dem Namen *Panydrometer* sehr empfohlen [1]) und neuerdings ist dasselbe abermals unter dem Namen *Litrameter* durch Hare als neue Erfindung zur scharfen Bestimmung des spec. Gewichtes angekündigt [2]), allein es bedarf keines Beweises, dafs ein auf dieses Princip gegründetes Werkzeug nie den besseren Aräometern gleich kommen wird, wie fein dasselbe auch construirt werde, und es kann daher blofs dazu dienen, das angegebene Gesetz zu erläutern.

Die Hemmung des Ausflusses der Flüssigkeiten durch den Luftdruck, z. B. beim Stechheber und den verwandten Apparaten, giebt in verschiedenen Fällen eine praktisch nützliche Anwendung, wie sich namentlich schon bei den Lampen des Cardanus mit lothrechtem gläsernen Oelgefäfse findet. Sollte z. B. eine Weingeistflamme unausgesetzt Fig. 43] genährt werden, so dürfte man nur der Lampe b einen steten Zuflufs durch das Rohr cd aus dem Behälter a geben, in lezteres aber das Gefäfs A so umstürzen, dafs seine Oeffnung γ bis zu derjenigen Tiefe herabginge, welche das Niveau des Weingeistes $\alpha\beta\beta'$ sowohl im Gefäfse a als b weder nach oben noch nach unten überschreiten soll. Sinkt dieses Niveau in b durch Verzehrung des Weingeistes, so wird es auch in a sinken, mithin die Luft in A aufsteigen, und aus diesem Gefäfse so viel Weingeist ausfliefsen, bis das Niveau wieder hergestellt ist. Da man A von beliebiger Gröfse machen kann, so läfst sich eine gleichmäfsige Flamme wochenlang ohne nachzusehen unterhalten.

---

[1]) Archiv d. Apotheker-Vereins im nördl. Teutschl. II. Hft. 2. p. 143.
[2]) Franklin's Journ. I. 157. Journ. of Sc. and Arts. XLII. 384.

Auf gleiche Weise gewährt dieses Princip ein Mittel, um einen gleichmäſsigen Abfluſs der Flüssigkeiten zu erhalten. Es sey zu diesem Ende die Röhre oder das willkührlich weite Fig 44] Gefäſs A B mit Wasser gefüllt, und das Röhrchen c zum Ausflieſsen bestimmt, so senke man für den gegebenen Zweck die an beiden Enden offene Röhre m n in das allseitig verschlossene Gefäſs herab. Wird dann das Röhrchen c verschlossen, so muſs nach hydrostatischen Gesetzen die Flüssigkeit im Röhrchen n m in gleicher Höhe stehen als im Gefäſse A B; wir wollen annehmen es sey dieses bis γ. Sobald das Röhrchen c geöffnet ist, flieſst das Wasser ab mit einer durch die Fallhöhe γc gegebenen Geschwindigkeit (§. 47), zugleich aber muſs an die Stelle des abflieſsenden Wassers ein gleiches Volumen Luft in das Gefäſs A B dringen, und da diese keinen andern Zugang hat, als durch die Röhre m n, so muſs sie in dieser die Wassersäule $n\gamma$ niederdrücken. Da dieser Wasserdruck durch die Säule $c\gamma$ überwunden werden muſs, so ist die Fallhöhe $= c\gamma - n\gamma = cn$; das Wasser wird also mit einer dieser Höhe proportionalen Geschwindigkeit abflieſsen, und wenn man diese gegen $n\gamma$ sehr geringe macht, die Ausfluſsöffnung aber dem Bedürfniſs gemäſs erweitert, so wird die Ausfluſsmenge aus dem ganzen Gefäſse stets eine gleichbleibende seyn. Daſs die Oeffnung bei c nicht so weit seyn dürfe, um die Luft neben dem Wasser eindringen zu lassen, versteht sich von selbst; es könnte indeſs, bei verlangter gröſserer Menge, die Ausfluſsröhre mit einem willkührlich groſsen, fein durchlöcherten, Bleche belegt werden.

§. 50.

Das wesentlichste Werkzeug, vermittelst dessen die Gesetze der Luft deutlich gemacht werden, ist die Luftpumpe. Sie besteht im Allgemeinen aus einem metallenen oder gläsernen Stiefel, welcher durch einen beweglichen Embolus luftleer gemacht wird. Der aus dem zu exantlirenden Gefäſse in denselben eindringenden Luft wird durch einen Hahn oder durch ein Ventil irgend einer Art der Rückweg in das Gefäſs abgeschnitten, und durch eine ähnliche Vorrichtung wird dieselbe aus dem Stiefel fortgeschafft, wodurch das sogenannte Guerickesche Vacuum dem absoluten oder Torricelli-

schen stets näher gebracht, aber nie völlig gleich gemacht wird. Auf gleiche Weise kann man in ähnlichen Maschinen die vorhandene Luft in einem Gefäfse zusammendrücken und den Stiefel aufs Neue füllen, so lange die Stärke des Apparates dieses gestattet. Der Grad der Verdünnung im Gefäfse, dessen Inhalt V ist, giebt für einen Stiefel vom Inhalte $= v$ bei n Kolbenzügen die Formel $x = \left(\frac{V}{V+v}\right)^n$. Bei der Verdichtung ist $x = \frac{V+nv}{V}$. Beide müfsten für eine unendliche Menge Kolbenzüge unendlich werden, allein mehrfache Hindernisse lassen wenigstens bei der Verdünnung eine gewisse Grenze nicht überschreiten. Das Verhältnifs der Guerickeschen Leere zur Torricellischen giebt die Vergleichung der mit beiden in Verbindung stehenden Barometer, und hiernach wird daher der Grad der Verdünnung gemessen. Die Stärke der Verdichtung mifst man vermittelst des Raumes, in welchen ein gegebenes Volumen atmosphärischer Luft zusammengeprefst wird.

Die Kenntnifs der Torricellischen Leere gab Veranlassung zu den Untersuchungen des Verhaltens der Körper im luftverdünnten Raume. Die erste für diesen Zweck brauchbare Maschine zeigte Otto v. Guericke 1654 in Regensburg [1]). Sie wurde durch Caspar Schott dem Robert Boyle bekannt, welcher nebst Dr Hook ihr eine verbesserte Gestalt gab, und daher oft unrichtig für den Erfinder gilt. Nachher sind unglaublich viele neue, zum Theil verbesserte Einrichtungen angegeben, worunter die von Sturm, Papin, Wolferd Serguerd mit schrägliegendem Stiefel 1697, Hawksbee mit doppeltem Stiefel, s'Gravesande, Nollet, John Smeaten 1759, Cuthbertson, Schrader, Lichtenberg, van Marum und Parrot, Marknoble und Gervinus, James Little und Fortin die wesendlichsten sind.

---

[1]) S. Ottonis de Guericke exper. nova Magdeburgica de vacuo spatio. Amst. 1672. fol.

Weil die Luftpumpe ein so aufserordentlich wesentlicher Apparat für physikalische und chemische Untersuchungen und selbst für viele technische Arbeiten ist, so erklären sich hieraus die zahllosen Vorschläge zu ihrer Einrichtung und Verbesserung, welche keineswegs alle zweckmäfsig sind. Indefs ist ihre Construction sehr einfach, und liegt der Hauptsache nach schon im Baue der unvollkommenen Maschine, womit Otto v. Guericke in Regensburg seine Kalbkugeln exantlirte, und die sonstigen, so grofses Aufsehen
Fig. 45.] erregenden, Versuche anstellte. Sie bestand aus einem messingnen Stiefel AB, welcher am Ende in die Höhe gebogen war, um in die Oeffnung C die Kugeln oder sonstigen zu exantlirenden Apparate zu schrauben. Dorthin führt in dem massiven Stücke BC der enge Canal cd, welcher so viel weniger Luft enthält, je enger er ist, allezeit aber dennoch den bei vielen späteren Constructionen nicht gänzlich vermiedenen sogenannten schädlichen Raum bildet, weil er Luft von der Dichtigkeit der äufseren Atmosphäre enthält, und in das exantlirte Gefäfs zurückführt. In dem ausgeschliffenen Cylinder bewegt sich der Embolus d, und wird an einer Stange vermittelst des Handgriffes f hin und her gezogen.

Die Operation des Exantlirens ist dann sehr einfach. Befindet sich die untere Fläche des Embolus d mit der Fläche des Bodenstückes c in unmittelbarer Berührung, und er wird dann bis an das Ende A zurückgezogen, so wäre der Raum ganz luftleer, wenn die im Gefäfse K befindliche Luft nicht in denselben strömte, und dadurch wird die in lezterem enthaltene um so viel verdünnt, als der aliquote Theil beträgt, welchen der Stiefel von ihr aufnimmt. Würde dann ohne Weiteres der Embolus wieder zurückgeschoben, so wäre der vorige Zustand ohne Effect hergestellt. Um dieses zu vermeiden, wird das aufgeschrobene Gefäfs K mit einem durchbohrten Bolzen, dem Guerickeschen Hahne e versehen, dessen Canal im Zustande des Geöffnetseyns mit dem Canale cd zusammenfält, nach dem Verschliefsen aber auf diesen lothrecht gerichtet ist, und ihm eine glattgeschliffene Metallfläche entgegenstellt. Hierdurch wird der Rückgang der Luft in das Gefäfs abgeschlossen, allein es stellt sich dann die Schwierigkeit entgegen, wie die im Stiefel befindliche Luft wegzuschaffen sey. Diesem half der Erfinder dadurch ab, dafs er bei a ein kleines conisches Löchelchen in den Stiefel bohrte, aus welchem die Luft beim Rückgange des Embolus entweichen konnte, und

welches hernach mit einem hineingesteckten metallenen, kegelförmig eingeschliffenen, Stifte wieder geschlossen wurde, um den Embolus abermals zurückzuziehen, und durch oftmalige Wiederholung dieses Verfahrens einen luftleeren Raum zu erzeugen. Das durch Otto v. Guericke gebrauchte Original, welches ich in der Sammlung des bekannten Beireis in Helmstädt sah, war etwa 13 bis 15 Z. lang und 1,5 bis 1,75 Z. im Inneren weit, so daſs man über die Geduld erstaunen muſs, welche zur Exantlirung so groſser Gefäſse mit einem so mangelhaften Apparate erfordert wurde.

Wegen der Unbequemlichkeit des Exantlirens mit der Hand, und um eine gröſsere Kraft auf den Embolus wirken zu lassen, stellten Robert Boyle und Hook den Stiefel senkrecht, und bewegten den Embolus vermittelst einer gezahnten Stange und einem Getriebe. Dionysius Papinus wählte statt des Hahns das Blasenventil und versah seine Luftpumpe mit dem Teller, wodurch er sie wesentlich verbesserte. Im äuſseren Baue am elegantesten und durch die Vollendung aller Theile am brauchbarsten waren in der Folge die durch John Smeaton [1]) angegebenen Luftpumpen, hauptsächlich in der Ausführung durch Haas und Hurter, deren Form später nicht wesentlich abgeändert ist.

Die noch jezt gebräuchlichen Luftpumpen bilden im Wesentlichen zwei Classen, nämlich die mit Hahnen und die mit Ventilen versehenen, und unter den lezteren sind die mit Blasenventilen und die mit metallenen Kegelventilen die besten; denn alle die zahlreichen und wirklich ausgeführten Arten der Ventile oder selbst die Einrichtungen ohne Ventile und Hahnen zu beschreiben, wäre viel zu weitläuftig.

Die Hahnluftpumpen sind ohne Widerrede die einfachsten und haben die gröſste Festigkeit des Baues. Man hat sie früher minder geachtet, weil bei ihnen der schädliche Raum nicht wohl vermeidlich schien, und das wechselnde Oeffnen und Schlieſsen des Hahns um so beschwerlicher gefunden wurde, als der Operirende ohnehin mit einer Hand die Kurbel bewegen, und mit der andern oft Gegenstände halten muſs. Gegenwärtig ist beides vermieden, und da läſst sich diesen Luftpumpen der Vorzug vor den andern nicht wohl absprechen, wenn sie auf die folgende oder eine dieser ähnliche Weise verfertigt werden, welche ich selbst

[1]) Phil. Trans. XLVII. N. 69.

zuerst im Jahre 1803 in Vorschlag gebracht habe [1]). Vor
Fig. 46.] allen Dingen ist erforderlich, daſs der Stiefel A genau cylindrisch und hinlänglich eben ausgeschliffen sey. Ist dieses geschehen, so wird der Embolus d ganz fertig gemacht. Dieser besteht aus einem massiven Stücke Messing, welches mit seinem unteren, den Kegel β begrenzenden Theile den inneren Raum des Stiefels ganz ausfüllen muſs, und eben so, nur etwas weniger genau, mit der oberen Scheibe α; der mittlere, einige Linien dünnere Theil wird dann mit Kork und einer ledernen Kappe überzogen, oder noch besser werden Scheiben von dickem, in Wachs und Oel nach dem Befeuchten getränkten Leder darauf geschoben, und dann das Ganze so abgedrehet, daſs der Embolus dicht schlieſsend in den Stiefel paſst. Alsdann wird in das massive, für den Hahn noch nicht durchbohrte, Bodenstück B die conische Vertiefung so gemacht, daſs der Conus des Embolus leicht genau eingeschliffen werden kann, und indem man demnächst das Bodenstück empirisch gegen den Cylinder paſst, um ihm genau die Lage zu geben, daſs der Embolus den Raum völlig ausfüllt, wird dasselbe festgeschroben. Der Embolus muſs an der gezahnten Stange so befestigt seyn, daſs er sich nicht um seine Axe drehen kann, und erst nachdem dieses alles fertig gemacht ist, und man somit jeden schädlichen Raum unter und neben dem Embolus vermieden hat, wird die Oeffnung c für den dicken Hahn so gebohrt, daſs hierbei und beim Einschleifen des Hahns die Spitze des conischen Embolus mit weggenommen wird, worauf der Künstler zulezt den Hahn an der von oben bezeichneten Stelle, oder in dem Kreise, welcher sich auf demselben von selbst nach einigen Umdrehungen durch die Spitze des
Fig. 47.] Embolus bildet, durchbohrt. Daſs dann der Hahn doppelt durchbohrt werde, und am äuſseren Ende mit einem Blasenventile versehen seyn müsse, um das Eindringen der äuſsern Luft in den mit sehr verdünnter Luft erfüllten Stiefel
Fig. 46.] zu hindern, daſs ferner an das untere Ende des Bodenstückes B bei α das Rohr angeschraubt und auf gewöhnliche Weise bis zum Teller hinaufgeführt werde, versteht sich schon nach dem gewöhnlichen Baue aller Luftpumpen. Nicht minder ist es vortheilhaft, daſs die Kolbenstange oben luftdicht in einer Lederbüchse gehe, und ein Ventil den Zutritt der äuſseren Luft über den Embolus abschneide, weil sonst bei starker Verdünnung unter demselben der ganze

[1]) Voigt Mag. VI. St. 2. Vergl. Gilb. Ann. XLII. 387.

Luftdruck auf seine Oberfläche überwunden werden muſs, was bei solchen, die einen Durchmesser von mehreren Zollen haben, nicht unbedeutend ist.

Die Mühe des abwechselnden Drehens des Hahns oder beider Hähne bei zweistiefligen Luftpumpen kann durch eine geeignete Selbststeuerung vermieden werden, wozu sich leicht ein paſslicher Mechanismus finden läſst. Ist der Stiefel kurz, so daſs der Embolus mit einer oder weniger als einer Umdrehung der Kurbel gehoben wird, so bringt man an der Axe des Rades, welches die gezahnte Stange hebt, eine leicht zu findende Vorrichtung an, wodurch beim Anfange der Umdrehung der Hahn geöffnet und am Ende derselben geschlossen wird. Ist aber der Stiefel lang, und fordert er aus andern Gründen Rad und Getriebe, so muſs der Mechanismus so eingerichtet werden, daſs bei anfangender und bei endender Umdrehung der Kurbel das Oeffnen und Schlieſsen des Hahns erfolgt. Unter den verschiedenen, hierzu geeigneten Vorrichtungen besteht eine Fig. 48.] darin, daſs der in c befestigte Hebel mit seinem einen Arme durch die Zähne des Rades gehoben und bei entgegengesetzter Bewegung wieder niedergedrückt wird, während der fortgehenden Drehung aber die Zähne über sich hingleiten läſst. Der andere Arm b hebt dann die zum Oeffnen und Verschlieſsen des Hahns bestimmte Stange, welche zur Erhaltung gröſserer oder geringerer Hebung auf dem Hebelarme verschoben werden kann. Sehr vortheilhaft ist es, der Kolbenstange für die erste Zeit der Kurbelbewegung, sowohl vorwärts als auch rückwärts, einen todten Gang zu geben, damit der Hahn erst geöffnet oder geschlossen werde, ehe die Bewegung des Embolus beginnt.

Zur zweiten Classe der Luftpumpen, nämlich mit Ventilen, gehören hauptsächlich zwei Arten, die mit Blasentilen und Fig. 49.] mit Kegelventilen. Die Blasenventile bestehen aus einer flachen Metallscheibe von 4 bis 12 Lin. Durchmesser, welche auf der einen Fläche völlig eben geschliffen und in der Mitte mit einem kleinen, etwa 0,5 bis höchstens 1 Lin. weiten Löchelchen durchbohrt sind. Ueber dieses wird ein Stück Thierblase, welche mit Weitzenkleien abgerieben ist, oder ein Stück Wachstaffent ganz eben und fest ausgespannt und vermittelst der 3 oder 4 über den Rand geschlagenen schmalen Enden α; β; γ; δ festgehalten, indem diese durch einen umgeschlungenen Seidenfaden in einer Furche dicht unter dem Rande gebunden werden. Drückt dann die Luft von unten herauf gegen die Blase, so hebt diese sich etwas,

und läſst die Luft an ihren Seiten entweichen; drückt sie dagegen von oben, so preſst sie das Blasenstück gegen das Löchelchen, verschlieſst dieses, und versperrt sich selbst dadurch den Rückgang. Ein solches Ventil wird daher im Bodenstücke unter dem Stiefel so angebracht, daſs das nach oben gekehrte Blasenstück mit der Fläche des herabgedrückten Embolus in Berührung kommt; ein zweites ist mit gleichfalls nach oben gekehrter Blase in der Bodenplatte des Embolus befestigt, und ein drittes endlich mit gleicher Lage der Blase des Deckels im Stiefel, woraus schon folgt, daſs hiernach ein Flieſsen der Luft aus der Campane durch den Stiefel bis in den freien Raum möglich ist, aber nicht rückwärts. Genauer beschrieben denke man sich den Embolus mit dem ganz ebenen Bodenstücke unter dem Stiefel in Berührung. Wird er in die Höhe gehoben, so hebt er die über ihm befindliche Luft, und nöthigt sie, aus dem Ventile im Deckel des Cylinders zu entweichen; dagegen strömt die Luft aus der Campane durch das Ventil im Bodenstücke des Stiefels in den Cylinder, und da ihr der Rückgang durch das Blasenstück abgeschnitten ist, so muſs sie durch den herabgedrückten Embolus entweichen, und wird dann beim Heben des lezteren gleichfalls weggeschafft [1]).

Die Kegelventil-Luftpumpen sind durch Cuthbertson angegeben, und von ihm in gröſster Vollendung verfertigt; ihre wesentliche Einrichtung ist folgende. Im Bodenstücke Fig. 50.] des Stiefels B befindet sich ein metallener Kegel *u* so eingeschliffen, daſs seine obere Fläche, wenn er niedergedrückt ist, mit der flachgeschliffenen Ebene jenes Stückes völlig zusammenfällt. Unten läuft derselbe in eine feine Spitze mit einem durchgesteckten Stiftchen c aus, welches ihm nur etwa 0,5 Lin. Hebung gestattet, oben dagegen ist er an einem Drahte *y* von etwa 3 Lin. Dicke befestigt, welcher gedrängt in einer Lederbüchse im Embolus a beweglich ist. Der Embolus hat gleichfalls ein metallenes conisches Ventil, welches in der Zeichnung leicht kenntlich als geschlossen erscheint, und in dieser Lage etwas hinauf gerückt eine kleine Vertiefung in der unteren Platte zurückläſst. Die Kolbenstange ist dicht über dem Embolus etwas dicker, als das Ventil, der Raum zwischen dem Anfange dieser Stange, da wo der Ventilconus in dieselbe eingeschroben ist, und zwischen der oberen Platte des Embolus be-

[1]) S. Erxleben's Naturlehre von Lichtenberg, wo sich in der Vorrede eine genaue Beschreibung der Smeatonschen Luftpumpe befindet.

trägt indefs kaum 0,5 Linien. Hiernach ist das Spiel dieser Ventile leicht verständlich. Nach der Zeichnung wird der Embolus aufwärts gezogen, und da hierbei der Widerstand seiner Reibung an den Wänden des Stiefels überwunden werden mufs, so prefst sich der Conus seines Ventils fest in die Oeffnung, worin er eingeschmirgelt ist, verwehrt der Luft über ihm den Durchgang, verdichtet sie und treibt sie durch ein Blasenventil im Deckel des Stiefels. Wird demnächst der Embolus wieder herabwärts bewegt, so bewirkt eben jene Reibung, dafs die Kolbenstange den Conus herabdrückt, bis ihr Rand bei d auf der oberen Platte des Embolus aufsitzt; die Luft kann aber zwischen den Wandungen des Conus entweichen und über den Embolus gelangen. Gleichzeitig bewirkt die Reibung des Drahtes γ in seiner Lederbüchse, dafs der Conus α fest in die Bodenplatte eingedrückt wird, und der Luft im Stiefel den Rückgang unter die Campane unmöglich macht [1].

Rücksichtlich der Wirkungen dieser drei Arten von Luftpumpen ergiebt sich von selbst, dafs bei den Blasenventil-Luftpumpen die Verdünnung nur so weit möglich ist, als die Luft noch Elasticität genug besitzt, das Blasenstück in die Höhe zu heben, und dieses geht bei sehr genauer Arbeit nicht über 2 Linien Quecksilberhöhe, so dafs man daher nur eine 170 fache Verdünnung zu erhalten vermag.

Haas und Hurter brachten daher im Bodenstücke eine Vorrichtung an, um das Blasenventil durch einen kleinen, vermittelst eines Hebels emporgedrückten, Stift zu heben; allein dieser Mechanismus ist sehr fein, und versagt leicht seine Dienste. Die Cuthbertsonschen Kegelventile sind eine sehr sinnreiche Vorrichtung, jedoch kostet ihre Verfertigung sehr viele Mühe, ihre Zusammensetzung ist schwierig, und bei der vollendetsten Arbeit findet dennoch bei jeder anfangenden Bewegung des Embolus ein Zeitmoment statt, in welchem beide Ventile zur Hälfte geöffnet sind, weil die Oeffnung des einen und die Schliefsung des andern gleichzeitig geschieht. Eine von mir lange Zeit gebrauchte, von Cuthbertson selbst verfertigte, sehr fleifsig gearbeitete, Luftpumpe gab nur 2 Lin. Quecksilberhöhe, also nur eine 170 fache Verdünnung. Sind dagegen die Hahnluftpumpen mit der gehörigen Sorgfalt und Genauigkeit gearbeitet, so wird die Differenz des Quecksilberstan-

---

[1]) Description of an improved Air-Pump. cet. By John Cuthbertson Te Amsterdam 1787. 8.

des in beiden Schenkeln des Heberbarometers verschwindend, man erreicht mindestens eine 1000 fache Verdünnung und kommt dem Torricellischen Vacuo bis auf einen fast unmeſsbaren Unterschied gleich.

Andere Vorschläge zur Luftverdünnung, als von Cazalet durch Wasser, von Baader, Hindenburg und Patten [1]) durch Quecksilber; von Sadler durch Oel, sämmtlich auf das Princip des Barometers gegründet; von Wilke und Berretray durch Wasserdämpfe; von Ingenhouſs und Morozzo durch verlöschende Kohlen u. s. w. wird niemand jetzt mehr in Ausübung bringen wollen.

Der Grad der Luftverdünnung, welcher vermittelst der Luftpumpe in den verschiedenen Gefäſsen erzeugt ist, müſste eigentlich aus der Berechnung nach der im §. gegebenen Formel bestimmt hervorgehen. Betrachtet man nämlich die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft zur Zeit des Exantlirens als Einheit, heiſst das Volumen des zu exantlirenden Gefäſses und der damit verbundenen Canäle bis zum Ventile oder dem Hahne unter dem Stiefel $= V$; der Inhalt des Stiefels von der Ebene des Bodenstückes bis unter die Fläche des in die Höhe gezogenen Embolus $= v$, so vertheilt sich nach dem ersten Kolbenzuge die Luft aus V in den vergröſserten Raum $V+v$, und die Dichtigkeit derselben $= x$ im Verhältniſs zur vorhergehenden Einheit ist: $x = \frac{V}{V+v}$ Indem aber die Luft von dieser verminderten Dichtigkeit beim zweiten Kolbenzuge abermals in den Raum $V+v$ vertheilt wird, so ist für diesen $x' = \left(\frac{V}{V+v}\right)^2$, und diesemnach allgemein nach n Kolbenzügen $x = \left(\frac{V}{V+v}\right)^n$. Hieraus ergiebt sich zuerst, daſs die Exantlirung so viel schneller gehen muſs, je gröſser v im Verhältniſs zu V ist, weil hiernach der Nenner wächst; zweitens aber, daſs die Verdünnung x verschwindend klein, aber nie $= 0$ werden kann, daſs also das Guerickesche Vacuum dem Torricellischen (absoluten) sich stets mehr nähern, aber es nie erreichen wird. Wäre z. B. der Inhalt des Stiefels gerade so groſs, als der Campane und der Verdindungsröhren, also $V = v = 1$, so wäre die Verdünnung beim ersten Kolbenzuge $= \frac{1}{1+1} = \frac{1}{2}$

---

[1]) S. Ann. of Phil. 1824. N. XLI. p. 255.

und würde also wie die Quadrate der natürlichen Zahlen steigen, mithin beim 50sten Kolbenzuge schon 112,5 Billionstel betragen; betrüge dagegen der Inhalt des Stiefels nur 0,25 von dem der Campane und der übrigen Räume, so wäre die Verdünnung beim 50sten Kolbenzuge $\frac{1}{1,25}^{50} =$
$= \frac{1}{70065}$.

Schon diese ungeheueren Gröfsen der Nenner, mit der Erfahrung verglichen, lassen schliefsen, dafs auf diesem Wege die Verdünnung nicht mit Sicherheit berechnet werden könne. Dabei steht aber noch aufserdem das Hindernifs entgegen, dafs der Grad der Verdünnung stets ein relativer seyn würde, weil die Dichtigkeit der anfänglich eingeschlossenen Luft nach dem Barometerstande wechselt, und zur Erhaltung einer absoluten Bestimmung müfste daher der für x gefundene Werth corrigirt werden. Endlich ist es fast eine Unmöglichkeit, den Inhalt der jedesmal gebrauchten Campanen, der Röhren und sonstigen Räume genau zu bestimmen, und so richtig daher die Formel theoretisch betrachtet ist, so hat sie doch praktisch gar keinen Werth.

Es giebt indefs ein eben so leichtes als sicheres Mittel, den Grad der Verdünnung genau zu messen und auf eine gewisse Normalgröfse zurückzuführen, welches darin bebesteht, dafs man die Höhe des Quecksilbers in einem mit der Luftpumpe verbundenen Barometer mit der in einem wirklichen Barometer, also die Guerickesche Leere mit der Torricellischen unmittelbar vergleicht, und nach dem Unterschiede beider den Grad der Verdünnung angiebt. Hierbei nimmt man aufserdem, wie auch der jederzeitige Barometerstand seyn mag, einen normalen mittleren an, u. z. in Deutschland 28 par. Z., in England 29 engl. Z. und in Frankreich 0,76 Meter, weil diese Barometerstände im Mittel der Dichtigkeit und Elasticität der Luft im Niveau des Meeres proportional sind (§. 53). Die Dichtigkeit der Luft in den exantlirten Gefäfsen ist dann allezeit dem Quotienten aus dem Unterschiede beider Barometerstände dividirt durch den mittleren Barometerstand gleich, und eben dieses giebt den Grad der Verdünnung an, die Dichtigkeit der Luft bei jenem Barometerstande als Einheit angenommen. Betrüge z. B. jene Differenz 3 par. Linien, so giebt dieses $\frac{3}{336} = \frac{1}{112}$

und es wäre also die Dichtigkeit der Luft diesem Bruche unmittelbar gleich, die Verdünnung aber eine 112fache, weil im Recipienten 1 Theil Luft in den 112fachen Raum ausgedehnt ist.

Um diese Messungen zu erhalten schraubt man an einen mit dem Recipienten der Luftpumpe verbundenen Canal eine lothrechte Glasröhre, senkt deren unteres Ende in ein Gefäfs mit Quecksilber, damit der äufsere Luftdruck das Quecksilber in ihr empordrücke, wenn unter dem Recipienten und damit zugleich aus dem oberen Ende dieser Röhre die Luft weggenommen wird, und vergleicht die Quecksilberhöhe in ihr mit derjenigen, welche das Barometer zeigt, um jene Differenz zu erhalten. Hierbei ist indefs die Messung der Quecksilbersäule im Barometer der Luftpumpe schwierig, weil die Höhe des Quecksilbers im Gefäfse sich ändert, und aufserdem erfordern dann beide Barometerstände eine Correction wegen der Temperatur (§. 53). Um dieses zu vermeiden stellt man neben die genannte Röhre in das nämliche Gefäfs mit Quecksilber ein aus einer möglichst gleichen Röhre bestehendes, Barometer, um an einer für beide gehörenden Skale beide Quecksilberhöhen, und somit die Differenz zugleich abzulesen. Absolute Genauigkeit giebt auch dieses anscheinend unübertreffliche Mittel nicht, weil die Capillardepression nicht in beiden Röhren gleich ist, und hierfür eine Correction erfordert wird (§. 69), und aufserdem können jene Barometerröhren beim Transporte der Luftpumpen und den dabei vorkommenden Erschütterungen leicht beschädigt werden. Ungleich zweckmäfsiger ist daher das durch Cuthbertson angegebene Fig. 51] abgekürzte Heberbarometer. Eine Barometerröhre abcd wird einmal herabwärts und wieder hinaufwärts gebogen, und dann der eine verschlossene Schenkel dc bis über die Biegung hinaus mit Quecksilber gefüllt und ausgekocht, das offene Ende a aber in die messingene Fassung m gekittet, welche unten eine Schraube hat, um das Ganze auf einen mit dem Recipienten in Verbindung stehenden Canal in lothrechter Stellung zu schrauben. Bei $\alpha\beta$ befindet sich ein in kleine Theile des Barometermafses getheilter verschiebbarer Skalentheil, um vermittelst desselben die Differenz des Quecksilberstandes in beiden möglichst gleichen Röhren abzulesen, und hiernach den Grad der Verdünnung zu bestimmen. Mit diesem Heberbarometer können allerdings nur die höheren Grade der Verdünnung gemessen werden, allein diese haben in der Regel nur das

hierzu erforderliche Interesse. Dafs man aufserdem in geeigneten Fällen unter die Recipienten auch kleine Heberbarometer setzen könne, namentlich in denjenigen Fällen, wenn man in Gefäfsen auf längere Zeit einen luftverdünnten Raum erhalten will, und sie deswegen gehörig abgeschlossen von der Luftpumpe wegnimmt, versteht sich von selbst.

John Smeaton machte den Einwurf, dafs die Luft immerhin unter den Recipienten hinlänglich verdünnt seyn könne, während andere expansibele Flüssigkeiten, namentlich Dämpfe, unter ihnen noch fortführen auf das Barometer zu wirken, dafs lezteres Werkzeug daher sich nicht genügend dazu eigne, den Grad der Luftverdünnung zu messen, und schlug daher hierfür die Birnprobe vor [1]. Dieser Einwurf ist insofern ungegründet, als man in der Regel allezeit nur den Grad der Verdünnung zu wissen verlangt, ohne die Beschaffenheit der eingeschlossenen elastischen Flüssigkeit zu berücksichtigen, weswegen die Birn-
Fig. 52] probe auch jezt kaum überall mehr angewendet wird. Der Apparat besteht aus einem birnförmigen Glase a mit einer langen, engen, oben verschlossenen, genau calibrirten Röhre bc, welche in aliquote Theile, meistens Tausendstel, des ganzen Inhalts getheilt ist. Zur Prüfung einer Luftpumpe auf den Grad ihrer Verdünnungskraft wird das obere Ende c in einem Korke unter dem Recipienten befestigt, die Birn über ein Gefäfs mit Quecksilber herabgelassen und nach dem Exantliren in dasselbe hineingesenkt, damit die wieder zugelassene Luft das Quecksilber in den ganzen Apparat bis auf einen aliquoten Theil nach hineindrücke, welcher auf der horizontalgehaltenen Röhre abgelesen den Grad der Verdünnung angiebt [2].

Compressionspumpen sind ungleich weniger in Vorschlag gebracht, weil man seltener Gebrauch davon macht, und alsdann bei ihnen nicht sowohl Bequemlichkeit für den Gebrauch und äufsere Eleganz, als vielmehr hinlängliche Stärke und gehörigen Widerstand gegen die Kraft der comprimirten Luft verlangt. Es ist daher durchaus nicht räthlich, die Luftpumpen, auch wenn sie von stärkerem Baue sind, zum Comprimiren zu benutzen, sobald man mehr als

[1]) Phil. Trans. XLVII. art. 69.

[2]) Die weitläuftige Literatur über die Luftpumpe mag ich hier nicht mittheilen, und verweise deswegen auf die bekannten Zeitschriften und Gehler's physikalisches Wörterb. Art. Luftpumpe.

höchstens eine dreifache Dichtigkeit der Luft verlangt. Diejenigen Apparate dieser Art, welche man neben den Luftpumpen zu gebrauchen pflegt, um die Luft in dicken gläsernen, fest auf einen Teller gedrückten Campanen zu com-
Fig. 53] primiren, bestehen im Allgemeinen aus einem Stiefel von höchstens 1,5 Z. innerem Durchmesser AB mit einem Embolus m ohne Ventil. Ist dieser in die Höhe gehoben, bis seine untere Fläche über das Löchelchen bei e hinausgeht, so dringt in lezteres die äufsere Luft, und wird im Stiefel beim Niederdrücken des Embolus sofort abgesperrt, dann immer mehr comprimirt, bis sie durch das Ventil c entweicht. Lezteres ist entweder ein Blasenventil, oder ein Hahn, oder für starke Verdichtungen ein metallenes Kegelventil, deren jedes der Luft den Rückgang versperrt, wenn man den Embolus wieder in die Höhe zieht, um den Stiefel abermals mit Luft zu füllen. Heifst dann auch hierbei, wie bei den Exantlirungspumpem, der Inhalt des Gefäfses und der Canäle bis an das Ventil $= V$; der Inhalt des Stiefels vom Bodenstücke B bis an die untere Fläche des aufgezogenen Embolus v; so ist zu dem Volumen V noch das Volumen v hinzugekommen, deren Summe also $= V + v$ nach dem ersten Niederdrücken des Embolus, und das Verhältnifs zum vorhergehenden Volumen $= V + v : V$ ist. Weil aber bei unveränderlichen Räumen die Dichtigkeit der Luft den Mengen der vereinigten Massen proportinal ist, so mufs die Verdichtung nach dem ersten Kolbenzuge $x = \frac{V+v}{V}$; nach dem zweiten $= \frac{V+2v}{V}$ und nach dem nten $= \frac{V+nv}{V}$ seyn. Diese Gröfse wächst unausgesetzt um so mehr, je gröfser v gegen V ist, und kann zulezt unendlich werden, wenn n eine unendliche Zahl wird, gegen welche also V verschwindet.

Um den Druck der comprimirten Luft zu messen bedient man sich in denjenigen Fällen, wenn die Verdichtung nicht das Doppelte der atmosphärischen Luft beträgt, einer Röhre mit Quecksilber, deren ein oder beide Schenkel aufwärts gebogen sind. Drückt dann die atmosphärische Luft auf beide Schenkel, so wird die Oberfläche des Quecksilbers horizontal seyn; drückt dagegen auf einen von ihnen comprimirte Luft, so steigt die Quecksilbersäule im andern der vermehrten Elasticität derselben proportional. Wäre also die Verdichtung die doppelte, so würde die Quecksilbersäule

eine Höhe von 28 Zollen erreichen. Hieraus folgt schon von selbst, dafs auf diese Weise keine sehr starke Verdichtungen mefsbar sind, und in der Regel wendet man dieses Mittel nur bei solchen an, welche etwa 1 bis 6 oder höchstens 14 Zolle Quecksilberhöhe geben, ausnahmsweise aber auch in Fällen, worin das Quecksilber in verbundenen Glasröhren zu 2 bis 30 Fufs hinaufgetrieben wird. In den
Fig. 54] meisten Fällen wendet man zum Messen starker Verdichtungen eine auf einer Skale abcd horizontal liegende, an einem Ende zugeschmolzene Glasröhre an, welche vermittelst einer messingenen Schraube α mit dem Gefäfse in Verbindung steht, worin die Luft comprimirt wird. Ein am offenen Ende befindlicher Tropfen Quecksilber reicht dann bei gewöhnlichem atmosphärischen Drucke bis an das o der Skale, wird dann durch den Druck der comprimirten Luft in die Röhre hineingetrieben, und der ganze Raum in derselben dividirt durch denjenigen, welcher durch das Quecksilber begrenzt wird, giebt dann den Grad der Verdichtung an.

§. 51.

Im gewöhnlichen Zustande der Körper wird der Druck der Luft gegen sie nicht wahrgenommen, weil sie allseitig durch dieselbe umgeben sind, und gleichsam in ihr schwimmend blofs mit ihrem relativen Gewichte herabsinken. Wird aber die Luft einseitig weggenommen, so zeigt sich sofort der Luftdruck in seiner ganzen Stärke, und wird durch das Gewicht einer Säule einer beliebigen Flüssigkeit, meistens des Quecksilbers, gemessen. Hieraus folgt dann zugleich, dafs der Druck der Luft nothwendige Bedingung des Fliefsens beim Heber sey.

Wird die Luft als schwere Flüssigkeit betrachtet, so folgt von selbst, dafs man ihren Druck gegen die Körper eben so wenig wahrnimmt, als den des Wassers gegen solche, die darin schwimmen. Befindet sich dagegen in dem einen Schenkel einer communicirenden Röhre blofs Luft von der Elasticität der atmosphärischen, im andern irgend eine Flüssigkeit, so mufs der Druck beider einander gleich seyn. Indem es aber gleichgültig ist, wie hoch der Schenkel sey, in welchem sich die Luft befindet, wenn nur die

ganze Höhe der Luftsäule bis an ihre Grenze auf die Oberfläche der andern Flüssigkeit drückt, und dieses bei jeder ins Freie mündenden Röhre statt findet, so bedarf es nur des einen Schenkels der communicirenden Röhre, welcher die tropfbare Flüssigkeit einschliefst, gegen deren untere Fläche dann eine Säule der atmosphärischen Luft drückt, deren Basis der Oberfläche jener Flüssigkeit gleich ist, und deren Höhe sich bis an die Grenze der Atmosphäre erstreckt. Auf diese Weise mafs Torricelli den Luftdruck vermittelst der nach ihm benannten Röhre, d. h. einer mit Quecksilber gefüllten Röhre, wobei das Gewicht einer Quecksilbersäule von der jedesmaligen Basis und Höhe dem Drucke der Luft gegen eine Fläche von der nämlichen Gröfse gleich ist. Man nennt dieses den *Druck einer Atmosphäre* und setzt ihn im Mittel einer Quecksilbersäule von 28 par. Zollen oder einer Wassersäule von 32 par. Fufsen gleich. Beides ist das Nämliche; denn da das spec. Gewicht des Quecksilbers nahe genau = 13,6 gegen Wasser beträgt, so betragen 28 Zolle Quecksilber 28 x 13,6 Z. = 31,73 Fufs Wasser, wofür man in runder Zahl 32 F. setzt. Nach dieser Normalgröfse wird dann der Druck von $\frac{1}{n}$ bis zu n Atmosphären berechnet. Das Gewicht eines par. Cub. Fufses Wasser beträgt nahe genau 73 ℔ Cölnisch [1], und hiernach der Luftdruck gegen einen par. Quadratfufs Fläche 73 x 13,6 x $\frac{7}{3}$ = 2316,53 ℔., gegen einen Quadratzoll aber $\frac{2316,53}{144}$ = 16,08 ℔. Nimmt man die Oberfläche des menschlichen Körpers und seiner gesammten Theile zu 15 Quadratfufs an, so beträgt der Luftdruck dagegen 34748 ℔., und das Fallen oder Steigen des Barometers um 1 Zoll verändert ihn um 1241 ℔. Dieser ungeheuere Druck wird deswegen nicht wahrgenommen, weil die flüssigen und festen Theile desselben überall von Luft umgeben und durch ein noch ungleich stärkeres Gewicht nicht merklich zusammendrückbar sind.

Man erläutert die Stärke dieses Luftdruckes durch eine Spiegelglasscheibe, welche man über einen Cylinder deckt, oder eine Thierblase, welche man straff gezogen darüber

---

[1]) Nach Bohnenberger wiegt derselbe 73 ℔. 5 Lt. 0 qt. 44 gr. Cöln. S. Tübing. Blätt. I. 51., wofür unbedenklich 73 ℔. gesetzt werden können.

bindet, und dann die Luft darunter wegnimmt. Sind beide sehr stark, und ist die Fläche geringe, so daſs sie den Druck einer 28 Zoll hohen Quecksilbersäule tragen würden, so bleiben sie unversehrt, widrigenfalls werden sie zerdrückt und zerrissen. Der Luftdruck zeigt sich ferner durch die Kraft, welche erfordert wird, die sogenannten Magdeburger Halbkugeln von einander zu reiſsen, wenn die Luft aus ihnen weggenommen ist. Da die Luft gegen beide Halbkugeln gleichmäſsig drückt, so muſs dieser doppelte Druck überwunden werden, wenn die eine derselben nicht irgendwo festgehalten wird. Wären sie völlig luftleer, so betrüge der Druck gegen jeden par. Quadratzoll der Kreisfläche durch ihren Mittelpunct 16 ℔., ist aber die Dichtigkeit des in ihnen noch enthaltenen Antheiles Luft $= \delta$; die Höhe des auf 0^{0} C reducirten Barometerstandes in par. Lin. $= h$, so beträgt das gegen einen par. Quadratzoll drückende Gewicht in Pfunden Cöln. G. $= \frac{h}{336}(1 - \delta)$ 16 ℔. Rechnet man dafür, daſs h mitunter weniger als 336 Lin. beträgt und δ allzeit eine meſsbare, wenn auch geringe Gröſse ist, hoch angeschlagen $^1/_{16}$ ab, und setzt den Druck gegen 1 Quadratz. Fläche = 15 ℔, die Kraft eines Pferdes aber = 200 ℔., so gehören für ein Pferd auf jeder Seite $\frac{200}{15} = 13^1/_3$ Quadratzolle. Halbkugeln von 1 Quad. F. oder 144 Quad. Zollen würden sonach $\frac{144 \times 15}{200} = 10{,}8$ über 10 Pferde an jeder Seite erfordern.

Wenn Wasser in communicirenden Röhren im Gleichgewichte steht, so drückt die Luft auf die Flüssigkeit in beiden Schenkeln ganz gleichmäſsig, und beide Gröſsen können daher als gleich und entgegengesetzt vernachlässigt werden; ist dagegen über dem einen derselben die Luft weggenommen, so drückt dieselbe einseitig auf den andern mit einer Kraft, welche einer 32 F. hohen Wassersäule gleich ist. Um dieses zu versinnlichen wird ein oben verschlossener gläserner Cylinder von etliche Fuſs Höhe und 3 bis 4 Z. Weite unten in Messing gefaſst, und mit einem auf die Luftpumpe aufzuschraubenden Rohre versehen, welches im Cylinder in eine Spitze von 2 bis 6 Z. Höhe ausläuft. Wird dieser interessante Apparat nach dem Exantliren von der Luftpumpe weggenommen und seine Mündung unter Wasser geöffnet, so springt dasselbe im Innern mit

einer grofsen Gewalt in die Höhe. Aus hydrodynamischen Gesetzen (§. 41) folgt, dafs das Wasser nicht völlig bis 32 F. hoch springen würde.

Die Eolgerung, dafs der Luftdruck der Gröfse der Flächen direct proportional sey, kommt in vielen Fällen zur praktischen Anwendung. Wollte man z. B. die Dichtigkeit der Luft durch einen mechanischen Druck um die Hälfte vermehren, so würde hierzu für 1 Quadratzoll 7,5 ℔. erforderlich seyn, und bei einem Blasebalge von 6 Quad. Fufs Oberfläche betrüge dieses daher 6 x 144 x 7,5 = 6480 ℔. Indem der Mensch aber durch die Kraft seiner Brustmuskeln die Luft ohne Schwierigkeit in einer nicht zu weiten Röhre um die Hälfte ihrer Dichtigkeit zusammendrückt, so ergiebt sich hieraus leicht die Auflösung des Problem's, dafs man viele Centner in die Höhe zu blasen vermöge, wenn man hierzu eine dem *follis hydrostaticus* des s'Gravesande ähnliche Vorrichtung Fig. 55] (§. 40) wählt. Diesem nachgebildet ist der *follis aerostaticus*. Ein gläsernes Gefäfs A wird etwa 1 Z. hoch mit Quecksilber gefüllt, und durch einen Kork in der Oeffnung e die Glasröhre c d von etwa 30 Z. Länge mit ihrem unteren Ende unter die Oberfläche desselben gesenkt. Um die Hervorragung f wird eine möglichst grofse Rindsblase B luftdicht festgebunden und aufgeblasen. Da eine so starke Blase den ganzen Luftdruck aushält, so ist es dann leicht, das Quecksilber in die Röhre c d bis über 27 Zolle in die Höhe zu saugen, aber nicht leicht kann der stärkste Mensch durch Drücken der Blase dasselbe bis zu 6 Z. Höhe treiben. Hierher gehört auch der sinnreich ausgedachte hydraulische Apparat, welchen v. Yelin unter dem Namen der Mayerschen Röhre [1]) beschrieben hat. Senkt man eine Glasröhre von beliebiger Länge und höchstens 1 Z. Weite mit dem unteren Ende einige Zolle tief in ein Gefäfs mit Wasser, hebt sie dann schnell in die Höhe und läfst sie wieder sinken, so wird der in ihr eingeschlossene Wassercylinder nach dem Gesetze der Trägheit in die Höhe steigen, und verschliefst man in diesem Augenblicke die Oeffnung des oberen Endes der Röhre mit dem Finger, so kann er nicht wieder herabsinken, vielmehr wird das Wasser durch wiederholte Hebungen bis ans Ende der Röhre gelangen. Noch besser ist es,

---

[1]) Vom Erfinder J. T. Mayer. S. v. Yelin Experimentalphysik §. 211.

oben ein Klappenventil anzubringen, so entweicht das Wasser zulezt durch dieses.

Bei einer grofsen Menge von Erscheinungen darf nicht übersehen werden, dafs die bei freier Verbindung mit der Atmosphäre in irgend ein Gefäfs eingeschlossene Luft, wenn sie keine Veränderungen, namentlich durch Temperaturwechsel, erleidet, nach allen Seiten einen dem atmosphärischen ganz gleichen Druck ausübt. Um dieses zu erläutern giefst man in ein kugelförmiges Glas mit engem Halse eine Quantität Quecksilber, senkt durch den Hals eine Barometerröhre, und schraubt diese in dem engen Halse luftdicht fest, so dafs ihr unteres Ende in das Quecksilber hinabreicht. Wird dieser Apparat auf den Teller der Luftpumpe gestellt, eine geeignete Campane darüber gestürzt und exantlirt, so treibt der Druck der eingeschlossenen Luft das Quecksilber in der Röhre bis fast zur Höhe des Barometers, und dafs Leztere nicht ganz erreicht wird hat darin seinen Grund, dafs die eingeschlossene Luft sich so weit ausdehnen, mithin diesem proportional an Elasticität so viel verlieren mufs, als ihr Volumen durch das in der Röhre aufsteigende Quecksilber vergröfsert wird. Es folgt hieraus zugleich, dafs ein Barometer in gleichen Höhen im Zimmer und aufserhalb desselben, überhaupt an jedem dem Zutritte der Luft offenen Orte, gleich hoch stehen wird.

Die Theorie des Hebers geht ursprünglich von den hydrostatischen Gesetzen aus, in der Aërostatik liegen jedoch Fig. 56.] die Bedingungen seines Fliefsens. Wären die beiden Schenkel ac und bc der Röhre acb mit Wasser so gefüllt, dafs die beiden Wassersäulen in denselben bei gleicher Höhe cd ein horizontales Niveau $\alpha\beta$ hätten, so könnte keine die andere weder heben noch herabdrücken. Wenn also der Luftdruck stark genug ist, ihr Gewicht zu tragen, mithin bei einer geringeren Höhe als 32 par. Fufs, kann keine herabsinken; wobei jedoch aus den hier angegebenen Bedingungen folgt, dafs bei der geringsten Schwankung das Herabfliefsen anfangen würde. Ist dagegen die Wassersäule im Schenkel b um die Länge βb höher, so mufs das Wasser mit einer der Quadratwurzel aus dieser Höhe proportionalen Geschwindigkeit abfliefsen (§. 47.), auch folgt aus hydrostatischen Getzen, dafs Krümmungen und Erweiterungen zwar die Menge des ausfliefsenden Wassers, keineswegs aber das Ausfliefsen selbst hindern. Ist ferner der längere Schenkel am Ende wieder aufwärts gebogen, so wird das Wasser eine der Fallhöhe proportionale Sprunghöhe erhalten, wor-

auf der sogenannte Springheber beruhet. Dafs man oft statt einer Spitze desselben einen Ring mit mehreren Spitzen zum Ausströmen feiner Wasserstrahlen wählt, ist blofse Spielerei.

Das Füllen des Hebers, als nothwendige Bedingung seines Fliefsens, geschieht meistens durch Saugen an dem in die abzuziehende Flüssigkeit nicht eingesenkten Ende, oder dadurch, dafs man ihn umgekehrt füllt, beide Enden mit einem Finger verschliefst, und dann nach vorhergegangener Umkehrung in die Flüssigkeit einsenkt. In vielen Fällen, namentlich bei ätzenden Flüssigkeiten, sind beide Verfahrungsarten unzulässig. Man verbindet daher mit dem zum Fig. 57.] Ablaufen bestimmten Schenkel b eine aufwärtsgebogene Röhre de, und füllt den Heber durch Saugen am oberen Ende derselben; einen solchen nennt man zuweilen den *pharmaceutischen Heber* [1]). Baumgartner schlägt vor [2]), den längeren Schenkel bei b wieder aufwärts bis über das Niveau von c zu biegen, das obere Ende mit einem Trichterchen zu versehen und unten in der Krümmung ein Löchelchen anzubringen. Wird lezteres mit dem Finger verschlossen, und in das Trichterchen Flüssigkeit gegossen, bis dieselbe die Höhe c im herabgehenden Schenkel b erreicht hat, dann das Löchelchen geöffnet, so fängt der Heber von selbst an zu fliefsen. Da auch dieses bei ätzenden Flüssigkeiten, wenn man die abzuhebende Menge nicht vermehren oder mit einer andern Flüssigkeit vermischen will, unthunlich ist, so gewährt ein Vorschlag von Bunten [3]) Fig. 58.] mehrfachere Anwendung, welcher den längeren Schenkel bc in eine Kugel aufbläst, diese mit der abzuhebenden Flüssigkeit füllt, dann den Heber umkehrt und den kürzeren Schenkel einsenkt, worauf der andere Schenkel mit der aus der Kugel herabfliefsenden Flüssigkeit gefüllt wird, und der Heber zu fliefsen anfängt Alle verschiedene Abänderungen des Hebers für chemische und pharmaceutische Zwecke sind indefs neuerdings fast gänzlich durch Fig. 59.] die sogenannten *Pipetten* verdrängt, deren Wirkung gleichfalls auf dem Luftdrucke beruhet, durch welchen die Flüssigkeit durch das Röhrchen a in die Kugel

---

1) Der von Siegling vorgeschlagene pharmaceutische Heber ist ungleich zusammengesetzter, und in diesem Verhältnisse nicht brauchbar genug. S. Tromsdorf Journ. der Pharm. VI. I p. 1.

2) Zeitschrift für Physik und Mathem. Wien 1826. I. p. 70.

3) Journ. de Pharmac. 1824. Avr. p. 189.

strömt, wenn durch Saugen an b die Luft aus dieser weggenommen wird. Der Schenkel a kann auch gerade gerichtet seyn.

Der leicht erklärliche, sogenannte würtembergsche, von Salomon Reifsel in Stuttgart beschriebene Heber [1]) machte zu seiner Zeit i. J. 1684 weit mehr Aufsehen, als er Fig. 60.] verdient, weil es gegen die Gesetze des Hebers zu streiten schien, dafs das Wasser aus jedem der beiden Gefäfse abflofs, wenn man eins derselben, a oder b, willkührlich öffnete. Man begreift aber leicht, dafs jeder der beiden Hahnen unter dem gemeinschaftlichen Wasserspiegel $\alpha\beta$ liegt, mithin ein Ablauf erfolgen mufs. Eine blofse Spielerei ist ferner die sogenannte *fraterna caritas*, indem zwei oder mehrere Röhren aus einer gemeinschaftlichen Kugel herabgehen, und daher die Flüssigkeiten in allen Gefäfsen, worin nach der Füllung ihre Enden gesenkt werden, bei einer Veränderung der Flüssigkeitshöhe in einem derselben wieder in gleiches Niveau stellen.

Die interessantesten Modificationen des Hebers sind der Diabetes des Heron [2]), auch künstlicher Tantalus genannt, und der unterbrochene Heber. Eine der schicklichsten unter den vielen Constructionen des ersteren ist die eines Bechers, Fig 61.] dessen hohler Handgriff den Heber bildet. Man sieht bald, dafs ein solcher Becher fast bis an den Rand gefüllt werden kann, augenblicklich aber durch den Heber ganz entleert wird, sobald die Flüssigkeit die Höhe von c überstiegen, und der Heber sich selbst zu füllen angefangen hat. Denkt man sich in den Bergen unterirdische Räume, welche durch heberförmige Canäle einen Abflufs haben, und setzt man daneben einen steten Zuflufs in dieselben voraus, welcher aber geringer ist, als der Abflufs durch den Heber, so mufs hiernach ein periodischer Abflufs entstehen, und es erklären sich hieraus zum Theil die intermittirenden Brunnen (§. 249).

Fig. 62.] Die Wirkung des unterbrochenen Hebers wird aus dem blofsen Anblicke der Figur kenntlich. Aus der messingenen Fassung a b des länglichten gläsernen Cylinders A geht eine lange Röhre c d herab, und eine andere e ist in die Mitte derselben so eingeschroben, dafs ihre Spitze in den Cylinder etwa 2 Zolle hervorragt. Wird der Cylinder mit Wasser einige Zolle hoch angefüllt, dann umgekehrt, und e in ein Gefäfs mit Wasser gesenkt, so verdünnt der durch

[1]) S. Phil. Trans. 1685. XIII. N. 167.

[2]) Heronis Alex. spiritualium Liber. Amst. 1680.

cd abfliefsende Wasserstrom die Luft in A so weit, dafs das Wasser aus der Spitze des Rohres e zu einer jener Fallhöhe proportionalen Höhe springt.

Dafs im Vacuo kein Heber fliefsen könne, folgt aus der Theorie desselben von selbst, das Experiment galt aber oft für schwierig, und dieses erklärt sich einfach daraus, dafs für eine kurze Wassersäule im Heber ein geringer Luftdruck noch hinreicht. Ist das Wasser 13,6 oder 14 mal leichter als Quecksilber, so wird in einem Vacuo, dessen verdünnte Luft noch 1 Z. Quecksilber hebt (also die Verdünnung $x = \frac{1}{28}$), ein Heber von 14 Z. Höhe nicht sillstehen, und bei 0,5 Z. Quecksilberdifferenz der beiden Barometer $\left(x = \frac{1}{56}\right.$ oder bei einer 56 fachen Verdünnung$\left.\right)$ selbst einer von 7 Z., so dafs also für 3,5 Z. Höhe schon eine 112 fache Verdünnung nöthig ist. Aufserdem hat übrigens der Fig. 63] Versuch keine Schwierigkeit. Durch eine blechene Einfassung des hohen Cylinderglases A wird der Heber acb gesteckt, und das Ganze dann in das breite und nicht hohe blechene Gefäfs mm gestellt, welches hinreicht, das aus A abfliefsende Wasser aufzunehmen. Dieses Gefäfs wird unter eine geeignete Campane gestellt, und nachdem das Vacuum gehörig hervorgebracht ist, drückt man einen in die Oeffnung des Glases passenden festen Körper so tief herab, bis das Wasser über die Biegung bei c läuft und der Heber sich füllt. Etwas fliefst der Heber auch im besten Vacuo der Luftpumpen, bald aber bilden sich zwei Wasserbarometer in beiden Schenkeln des Hebers, welcher nach dem Zulassen der Luft zu fliefsen fortfährt, bis das Wasser im Glase und Gefäfse im gleichen Niveau steht.

§. 52.

Wenn man neben der Schwere der atmosphärischen Luft noch ihre Expansibilität berücksichtigt, so folgt, dafs dieselbe durch ihr eigenes Gewicht zusammengedrückt seyn mufs. Das über ihre Elasticität und Dichtigkeit von Mariotte und Robert Boyle gleichzeitig aufgefundene, und nach beiden benannte Gesetz heifst: „Bei allen permanent elastischen Flüssigkeiten „ist die Dichtigkeit, das Gewicht und die Elasticität der

„zusammendrückenden Kraft directe, der Raum aber, „den sie einnehmen, derselben umgekehrt proportional."

Dafs die Luft sich sowohl zusammendrücken, als auch ausdehnen lasse, zeigen die einfachen Versuche mit einer kleinen unten völlig verschlossenen Pumpe ohne Ventile, in welche man den Embolus tiefer herabdrücken und höher hinaufziehen kann, ohne die Menge der eingeschlossenen Luft zu vermehren oder zu vermindern. Aus diesem einfachen Versuche geht dann weiter hervor, dafs die mehr zusammengedrückte Luft das Bestreben habe, sich auszudehnen, indem sie den herabgedrückten Embolus hebt; desgleichen, dafs die äufsere Luft die in einen gröfseren Raum ausgedehnte wieder in ihren vorigen Raum zusammendrücke, denn der gehobene Embolus sinkt bei nachlassendem Zuge wieder an seinen vorigen Ort zurück. Dieser eigenthümliche Charakter der elastischen, oder eben deswegen expansibel genannten, Flüssigkeiten wird aufserdem noch durch eine Menge Versuche anschaulich gemacht. Unter die bekanntesten derselben gehören die Cartesianischen Schwimmer oder Teufelchen, kleine gläserne Männchen, in deren hohlen Körper durch äufseren Druck Wasser geprefs wird, welches die darin eingeschlossene Luft zusammendrückt, und sie dadurch spec. schwerer macht, so dafs sie nach dem Belieben des Experimentirenden steigen und fallen. Die Fähigkeit der Luft, sich bei nachlassendem äufseren Drucke in einen gröfseren Raum auszudehnen, bei vermehrtem aber in einen kleineren, wird anschaulich, wenn man in das spitze Ende eines Hühnereies ein kleines Loch bohrt, und es dann, dieses nach unten gerichtet, über einem kleinen Gefäfse unter einer Campane aufhängt. Durch Verdünnung der äufsern Luft wird die im stumpferen Ende des Eies enthaltene Luftblase ausgedehnt, und drückt die Flüssigkeit aus der Eischale; allein wenn die Oeffnung in die ausgeflossene Masse getaucht ist, so füllt sich das Ei durch den Druck der hinzutretenden Fig. 64.] Luft wieder. Befindet sich in der Kugel A Luft, in B Wasser, und dieser Apparat wird unter eine Campane auf den Teller der Luftpumpe gestellt, so entweicht beim Exantliren die in A eingeschlossene Luft durch die Röhre a und durch die über sie gestürzte, oben verschlossene, b unter dem Wasser hin. Tritt dann die äufsere Luft wieder hinzu, so drückt sie das Wasser auf eben diesem Wege in das Gefäfs A; allein wenn aus diesem nicht alle Luft weggenommen wurde, so drückt die noch darin vorhandene beim aberma-

ligen Exantliren das Wasser wieder zurück, und man kann diesen Wechsel willkührlich oft erneuern.

Das Gesetz, welches die Luft- und Gasarten bei ihren Verdichtungen und Verdünnungen befolgen, wurde zuerst durch Robert Boyle aufgefunden, nachher vermittelst ganz gleicher Apparate durch Mariotte [1]), weswegen auch die Engländer dasselbe nach jenem, die übrigen Nationen
Fig. 65] mehr nach diesem benennen. Beide bedienten sich dazu einer heberförmig umgebogenen Röhre, bei welcher der eine genau cylindrische Schenkel kurz und oben geschlossen, der andere sehr lang und offen war. Etwas hineingegossenes Quecksilber mit gleichem Niveau in beiden Schenkeln bei $\alpha\beta$ sperrte die Luft im kürzeren ab, so dafs also die Dichtigkeit der in beiden Schenkeln auf das Quecksilber drückenden Luft gleich war. Wurde dann Quecksilber nachgegossen, so dafs es um die Höhe des jedesmaligen Barometerstandes über das in β hinaufrückende Niveau höher stand, so war β genau um die Hälfte des früheren Raumes hinaufgerückt; ein nochmaliges Zugiefsen zur doppelten Höhe von $\beta\delta$ bis $\varepsilon\varrho$ prefste die um das doppelte verdichtete Luft abermals in die Hälfte des Raumes zusammen, und weil hiernach also die eingeschlossene Luft durch ihre Elasticität dem doppelten und vierfachen atmosphärischen Drucke, diesen als Einheit angenommen, widerstand, so wurde hieraus gefolgert, dafs die Elasticität der Luft der zusammendrückenden Kraft directe, ihr Volumen derselben umgekehrt proportional sey; aus Lezterem folgte dann die der Zusammendrückung direct proportionale Dichtigkeit von selbst. Diese Versuche beziehen sich aber blofs auf die Verdichtung der atmosphärischen Luft, diese als Einheit genommen; allein Boyle und Mariotte senkten auch in eine mit Quecksilber gefüllte Röhre eine andere, schlossen in lezterer eine gewisse Menge Luft ab, hoben sie aus dem Quecksilber zu verschiedenen Höhen empor, und fanden die Verdünnung allzeit der Höhe der gehobenen Quecksilbersäule proportional, so dafs also das aufgestellte Gesetz für Luft von jeder mefsbaren Dichtigkeit gilt. Wird dasselbe in allgemeinen Zeichen ausgedrückt, und heifsen bei zwei elastischen Flüssigkeiten die Dichtigkeiten D und d; die Elasticitäten oder Pressungen P und p; die Volumina V und v, so ist:

[1]) Dafs R. Boyle der erste Entdecker dieses Gesetzes sey, indem er schon i. J. 1660 seine Versuche anstellte, Mariotte's Schrift aber erst 1676 erschien, habe ich in Gehler's phys. Wörterb. Th. IV. p. 1027 nachzuweisen gesucht.

1) $D : d = P : p$, also $D = d\frac{P}{p}$

2) $D : d = v : V$. also $D = d\frac{v}{V}$

3) $V : v = p : P$, also $V = v\frac{p}{P}$

Werden alle drei Gröſsen für atmosphärische Luft unter dem mittleren Barometerstande von 336 Lin. als Einheit angenommen, und hiernach die Werthe von v'; d' und p' gesucht, so ist: $v' = \frac{336}{p'}$ und $d' = \frac{p'}{336}$, wenn p' durch den Druck einer Quecksilbersäule in par. Lin. ausgedrückt wird. Wollte man z. B. wissen, um wie viel das Volumen einer eingeschlossenen Gasmenge bei einem Barometerstande von 330 Lin. anders sey, als beim normalen, so wäre das Volumen derselben $v' = \frac{336}{330}$ d. h. es wäre nahe $= 1{,}02$ also fast um zwei Hundertstel gröſser; dagegen würde es $= \frac{336}{340} = 0{,}9088$ seyn, oder um fast ein Zehntel kleiner, wenn das Barometer bis 340 Lin. gestiegen wäre. Noch häufiger wird die Dichtigkeit eingeschlossener Luftmassen gesucht oder ihre Elasticität, welche der Dichtigkeit gleich ist. Die hierher gehörigen Fälle sind zuerst, wenn man zur Messung der Ausströmungsgeschwindigkeit oder für sonstige Zwecke den Ueberschuſs des Druckes über den atmosphärischen angiebt, welcher dann sehr leicht durch die Höhe der drückenden Wasser- oder Quecksilbersäule bestimmt wird. So würde man z. B. sagen, die Luft oder das Gas werde durch n Zolle Quecksilber oder Wasser zusammengedrückt, oder wenn man die Bestimmung allezeit auf Quecksilber zurückführen wollte, durch $\frac{n'}{13{,}6}$ Z Quecksilber, wenn n' die Höhe des drückenden Wassers in Zollen bezeichnete. Soll dagegen die Dichtigkeit der eingeschlossenen Gasart auf die bei 336 Lin. Barometerhöhe als normal angenommene zurückgeführt werden, und heiſst der jedesmalige Barometerstand in par. Lin. $= h$; die das Gas ausdehnende oder zusammendrückende Quecksilbersäule (oder die hierauf durch die Division mit 13,6 reducirte Wassersäule) $= -\alpha$ und $+\alpha$, so ist die corrigirte Dichtigkeit

(und Elasticität) $D' = \frac{h \pm \alpha}{336}$. Wäre z. B. Luft in einer Eudiometerröhre bei einem Barometerstande von 330 Lin. eingeschlossen, und das Quecksilber stände 18 Lin. in der Röhre höher als in der pneumatischen Wanne, so wäre die Dichtigkeit derselben zur normalen $= \frac{330-18}{336} = \frac{312}{336} : 1 =$ 0,9285...: 1. Stände dagegen das Quecksilber in der Wanne 18 Lin. höher, so wäre die Dichtigkeit $= \frac{330+18}{336} = \frac{348}{336} =$ 1,0357... : 1. Werden ferner zwei Gasarten, welche verschiedene Räume unter verschiedenem Drucke einnehmen, mit Beibehaltung ihrer Räume und ohne chemische Einwirkung auf einander vermengt, so ist die neue Elasticität beider $P' = \frac{VP + vp}{V + v}$, und das Volumen derselben, wenn die Elasticität $= P'$ werden soll, $= V' = \frac{VP + vp}{P'}$. Ist aber in einem Gefäfse Gas von der Dichtigkeit $= P$ enthalten, und es wird ein anderes Volumen Gas $= v$ von der Dichtigkeit $= p$ hinzugesetzt, so ist bei unverändertem Volumen, dieses und die zugehörige Dichtigkeit als Einheit angenommen, die neue Dichtigkeit und Elasticität $= 1 + \frac{vp}{P}$.

Das Mariottesche Gesetz ist später von vielen Physikern, namentlich von Winkler [1], Richmann und Kratzenstein [2] und mehreren andern [3] durch die Erfahrung geprüft. Die Unzulässigkeit des durch Hales angestellten Versuches, wodurch er eine 1838 fache Verdichtung der Luft erhalten haben wollte, ist schon längst nachgewiesen [4]; von Wichtigkeit dagegen sind diejenigen Versuche, durch welche Oerstedt und Swendsen [5] die Gültigkeit des angegebenen Gesetzes bis zur 66,25 fachen Verdichtung nachgewiesen haben. Inzwischen folgt aus der bereits bewerkstelligten Verwandlung verschiedener Gase in tropfbare Flüssigkeiten (§. 15) mit grofser Wahrscheinlichkeit, dafs

[1]) Unters. d. Natur u. Kunst. Leipz. 1765. II. p. 98.
[2]) Nov. Com. Pet. II. 163.
[3]) Robison System of cet. 634.
[4]) Nov. Com. Pet. I. 280.
[5]) Edinb. Journ. of Science. VIII. 224.

dasselbe nicht absolut, sondern nur bis zu einer gewissen, nach der Natur der Gase verschiedenen Grenze gültig ist, selbst wenn das von Perkins angeblich erhaltene Resultat seiner Versuche mit atmosphärischer Luft nicht richtig seyn sollte, weil sonst die comprimirte Luft dichter als irgend ein anderer Körper werden, und bei unendlicher Ausdehnung zuletzt in ein eigentliches Nichts übergehen müfste, welches mit der atomistischen Theorie unvereinbar, überhaupt aber nicht wohl vorstellbar ist. Eben dieses ist auch das Resultat der durch d'Alembert [1], L. Euler [2], J. T. Mayer [3] und andere angestellten theoretischen Betrachtungen, und Wollaston [4] folgert, dafs die Atmosphäre der Erde selbst begrenzt seyn und nicht unendlich dünn werden könne, weil sie sonst in die Anziehungssphäre anderer Planeten, namentlich des Jupiters kommen, und um diese sich nach dem Verhältnifs ihrer Anziehungskräfte aufhäufen müfste.

Der vermehrte Druck der verdichteten Luft wird anschaulich durch die Wirkung des Heronsballes, des Windkessels und des Heronsbrunnens. Der *Heronsball* ist in seiner einfachsten Gestalt ein blofser völlig verschlossener Ballon A, mit einer bis nahe auf den Boden herabgehenden, unten offenen und oben spitz zulaufenden Röhre. Wird dieser Ballon etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt, meistens durch eine im Boden befindliche, nachher zuzuschraubende Oeffnung oder nach Herausnahme der Röhre ac, und dann die Luft darin zusammengedrückt, so übt diese einen ihrer Dichtigkeit proportionalen Druck gegen das Wasser aus, und nöthigt dieses aus der Röhre zu springen. Wäre z. B. die Luft zur doppelten Dichtigkeit zusammengedrückt, so würde auf das Wasser aufsen in der Röhrenmündung ein einfacher Luftdruck stattfinden, welcher durch einen einfachen im Innern compensirt wird, so dafs hier noch ein einfacher übrig bleibt, welcher also wie eine Wassersäule von 32 par. F. drückt, und das Wasser mit einer dieser proportionalen Kraft aufspringen macht. Will man denselben künstlicher einrichten, so erhält die Röhre bei a einen Hahn, welcher bis zur gehörigen Verdichtung der Luft geschlossen wird, dann steckt man allerlei Figuren auf die

Fig. 66.]

---

[1]) Traité des Fluides. Lib. I. chap. 6.
[2]) Robins Artill. p. 85. u. 95.
[3]) Comm. Soc. Gott. 1822—27.
[4]) Phil. Trans. 1822. I. 89.

Mündung der Röhre, welche das Wasser ausspeien oder emporspritzen.

Die gröfste Aehnlichkeit hiermit hat der *Windkessel*, ein aus starkem Kupfer gefertigtes Gefäfs mit nach unten gekehrter Mündung, welches bei Feuerspritzen, durch Druck getriebenen Fontainen u. s. w. mit dem zum Ausgufsrohre führenden Wassercanale in Verbindung gesetzt wird. Das stark gedrückte, und dadurch zu einer beträchtlichen Höhe getriebene Wasser prefst die im Windkessel enthaltene Luft zusammen, welche dann nach dem Mariotteschen Gesetze mit einer diesem Drucke direct proportionalen Kraft reagirt, und während der, durch den wechselnden Auf- und Niedergang der Kolben erzeugten Intervalle die Bewegung des Wassers unterhält (§. 41). Wie stark die Luft hierbei comprimirt sey, und welche Gewalt hiernach die Wände des Windkessels aushalten müssen, läfst sich leicht finden, wenn man berücksichtigt, dafs 32 F. Wasserhöhe dem einfachen Luftdrucke proportional sind. Ist also die der zu erreichenden Sprunghöhe $= h$ proportionale Fallhöhe $= H$ gegeben, welche durch den mechanischen Druck gegen das Wasser ersetzt wird, so ist $\left(\frac{H}{32} + 1\right)$ die Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft, die der atmosphärischen $= 1$ gesetzt, und da der Druck einer Atmosphäre auch von aufsen auf den Windkessel wirkt, so ist $\frac{H}{32} \times 2316$ ℔. Cöln. (§. 51.) derjenige Druck, welchen ein par. Quadratfufs des Windkessels aushalten mufs. Die Gröfse des Windkessels mufs aus leicht begreiflichen Gründen so seyn, dafs die eingeschlossene verdichtete Luft durch das während des Kolbenwechsels ausfliefsende Wasser nicht verhältnifsmäfsig zu sehr an Dichtigkeit verliert [1]).

Der *Heronsbrunnen*, wie der Heronsball schon durch Heron von Alexandrien beschrieben, ist eine der interessantesten hydropneumatischen Maschinen. Er besteht aus zwei Fig. 67.] an Inhalt gleichen Gefäfsen A und B von willkührlicher Gröfse und Gestalt, und einem der verlangten Sprunghöhe proportionalen Abstande. Soll derselbe eine Fontaine bilden, so wird angenommen, dafs das obere Gefäfs A mit

---

[1]) Dafs für die Construction der Windkessel noch weitere und auf anderen Elementen beruhende Berechnungen angestellt werden können, welche hier aber unstatthaft sind, versteht sich von selbst.

Wasser, das untere mit Luft von der Dichtigkeit der atmosphärischen gefüllt sey. Wird dann in die oben offene, und bis dicht über den Boden des unteren Gefäſses herabgehende Röhre a b etwas Wasser gegossen, so wird die Luft im Gefäſse B durch das Gewicht einer Wassersäule von der Länge dieser Röhre zusammengedrückt, ein dieser Compression proportionaler Theil steigt in der Röhre c d, welche in der Decke des unteren Gefäſses eingelassen ist und dicht unter der Decke des oberen Gefäſses mündet, empor, drückt mit ihrer ganzen Elasticität gegen die Oberfläche des darin enthaltenen Wassers, und zwingt dieses aus der Röhre f g in die Höhe zu springen. Diesemnach ist die Fallhöhe, welche die Sprunghöhe bestimmt, durch die Länge der Röhre a b gegeben, und die Erfahrung zeigt zum Beweise des groſsen Nutzens der Windkessel, daſs die Sprunghöhe beim Heronsbrunnen weniger hinter der Fallhöhe in der Röhre zurückbleibt, als bei einer einfachen aufwärts gebogenen und in eine Spitze ausgezogenen Röhre. Das aus der Röhre f g springende, und in die mit dem oberen Gefäſse verbundene Schüssel herabfallende Wasser sinkt dann durch die Röhre a b wieder herab, und unterhält das Springen so lange, bis das obere Gefäſs leer ist, wobei sich von selbst versteht, daſs Fallhöhe und demnach auch Sprunghöhe so viel geringer wird, je mehr das Wasser im oberen Gefäſse sinkt und im unteren steigt; auch verdient es kaum bemerkt zu werden, daſs mit Ausnahme der Röhrenöffnungen der ganze Apparat luftdicht schlieſsend seyn muſs. Jos. Carl Höll hat von dem Principe des Heronsbrunnens eine interessante, sehr ins Groſse gehende Anwendung in den Bergwerken zu Chemnitz gemacht [1]).

Bei der geringen Zusammendrückbarkeit fester und tropfbar flüssiger Körper kann ein vermehrter oder verminderter Luftdruck, wie groſs auch die Stärke desselben seyn mag, keine bedeutende Wirkungen äuſsern, so lange sie als todte Massen betrachtet werden. Man hat daher allezeit vorzugsweise bloſs die lebenden Wesen in dieser Rücksicht untersucht, obgleich auch hierüber nur sehr wenige Versuche bekannt sind, welches in den dabei unvermeidlichen hindernden Bedingungen gegründet ist. Auf welche

---

[1]) N. Poda kurzgefaſste Beschreibung der bei dem Bergbaue in Niederungarn errichteten Maschinen. Prag 1771. A. L. F. Meister de Heronis fonte educendis ex puteo aquis adhibito, sive de hydraulico pneumatico Schemnitiensi in Nov. Com. Gott. IV. p. 169.

Weise ein vermehrter oder verminderter Luftdruck das Wachsen der Vegetabilien befördert oder hindert, ist durch künstliche Versuche noch keineswegs genügend ausgemittelt und auch in so fern nicht wohl möglich, als lebende Pflanzen auf die umgebende Luft zerlegend wirken, und hierdurch die Bedingungen fortdauernd abändern. Welchen Einfluſs aber die verdünnte Luft in höheren Regionen auf die Vegetation habe, kann deswegen nicht gut erforscht werden, weil dort zugleich die Temperatur sehr verschieden ist; indeſs muſs man schlieſsen, daſs derselbe nicht bedeutend sey, weil bei gleicher Wärme die Pflanzen dort gleich gut als in tieferen Gegenden gedeihen.

Beim Ersteigen sehr hoher Berge befinden sich die Menschen und Thiere meistens unwohl, fühlen starke Ermüdung und beschleunigten Puls. Weil aber Gay-Lüssac bei seinem aërostatischen Aufsteigen, eben wie andere Aeronauten, etwas beschleunigten Puls abgerechnet, nichts hiervon empfanden, so kann dieses auch Folge der gröſseren Kälte bei heftiger Einwirkung der Sonnenstrahlen, und der zum Steigen erforderlichen Anstrengung seyn. Die Bewohner hoher Berge befinden sich bei gleich guter Nahrung eben so wohl, als die in der Ebene wohnenden, aber auf keinen Fall besser, vielmehr sind gröſsere Kälte, verminderte Dichtigkeit der Luft und insbesondere die geringere Weichheit der Speisen wegen des tiefer liegenden Siedepunctes dem Wohlbefinden nicht zuträglich. Die Resultate, welche Achard [1]) aus seinen Versuchen über den Einfluſs der verdichteten Luft auf kleinere Thiere erhalten haben will, stimmen mit den Ergebnissen nicht überein, welche sich bei Menschen zeigen. So empfand John Roebuck im Gebläsekasten des Hohofens zu Devonshire durchaus keine Unbequemlichkeit der Respiration durch 2mal verdichtete Luft, den Schall fand er sehr verstärkt, die Lichter hell brennend und selbst durch das Blasen der Luft minder leicht erlöschend, aber merkwürdig war das Entstehen eines Nebels bei anfangender und aufhörender Verdichtung [2]). Daſs er ein Brausen in den Ohren verspürte, erklärt er aus der Zusammendrückung der im inneren Ohre eingeschlossenen Luft, welche nach vielfachen Erfahrungen [3]) unter der Tau-

[1]) Samml. phys. chem. Abhandl. Th. I. Vergl. Gilb. Ann. IX. 59.
[2]) Gilb. Ann. IX. 45.
[3]) Bibl. univ. XIII. 230.

cherglocke bis zum empfindlichsten Schmerze gesteigert werden kann.

§. 53.

Aus dem Mariotteschen Gesetze folgt, dafs nicht blofs überhaupt ein wechselnder Druck der Luft statt finden mufs, sondern dafs auch die Dichtigkeiten und Gewichte gleich hoher Schichten, worin wir uns dieselbe abgetheilt denken können, in einer geometrischen Progression abnehmen müssen. Das Barometer dient dazu, sowohl in gleichbleibenden Höhen über der Meeresfläche den wechselnden Luftdruck zu messen, als auch bei den Erhebungen auf verschiedene Höhen über der Meeresfläche aus dem geringeren Luftdrucke die Höhen zu berechnen.

Das *Barometer* oder Baroskop, Schweremesser, Luftschweremesser, bezeichnet seine Bestimmung durch seinen Namen. Seit seiner Erfindung durch Torricelli ist seine Gestalt vielfach abgeändert. Dahin gehören Morland's schiefliegendes, Hook's Radbarometer, Cartesius und Huyghens doppeltes Barometer [1]), Amontons conisches und Bernoulli's rechtwinkliches Barometer, de Lüc's Heberbarometer, Fortin's Gefäfs-Barometer und Prony's Barometer an einer Waage, nebst vielen andern Vorschlägen [2]).

Alle diese, und die vielen andern Constructionen zu beschreiben wäre überflüssig, und gehört jezt nur noch in eine Geschichte der Physik; vielmehr genügt die allgemeine Bemerkung, dafs man früher sich bemühete, dem Barometer eine solche Einrichtung zu geben, vermöge welcher geringe Veränderungen des Luftdruckes durch die vergröfserten Räume leicht kenntlich werden sollten, welche das Ende der Quecksilbersäule durchlief, wodurch aber die Genauigkeit der Messung verloren ging. Unter allen den hierunter gehörigen Vorschlägen ist der durch Huyghens gemachte der beste, obgleich von dem genannten Fehler

[1]) S. Schmidt bei G. XIV. 139.

[2]) S. G. II. 311. Lutz vollständige und auf Erfahrung gegründete Beschreibung von Barometern, Nürnb. u. Leipz. 1784. Voigt's Beiträge zur Verfertigung u. Verbesserung d. Barometers, F. a. M. 1795.

Fig. 68.] nicht frei, nämlich die Röhre des Heberbarometers am oberen und unteren Ende des eingeschlossenen Quecksilber-Cylinders a und b bedeutend zu erweitern, über dem aufwärts gebogenen unteren Cylinder aber eine enge Röhre cd mit Weingeist anzubringen, welcher bei den Veränderungen des Barometers so viel gröfsere Räume durchläuft, als das Inhaltsverhältnifs des Cylinders b zu dem der Röhre cb beträgt. Ein gut construirtes Barometer dieser Art zeigt die geringsten Schwankungen in der Atmosphäre. Die Skale desselben wird am besten empirisch verfertigt, indem man bei einem hohen Stande des Barometers die Höhe des Weingeistes bei c und bei einem niedrigen bei d nach einem guten Barometer bezeichnet, und den zwischenliegenden Raum danach abtheilt.

Die wesentlichsten Bedingungen eines guten Barometers sind:

1) Hinlängliche Weite der Röhre, welche bei guten Barometern nicht unter 1,5 par. Lin. betragen darf, und selbst bei gemeinen, zu gewöhnlichen Witterungsbeobachtungen bestimmten, nicht unter 1 Linie. Die Ursache hiervon liegt darin, dafs dünnere Quecksilbersäulen nicht wohl frei von Luft zu machen sind, ferner in einer zu starken Capillardepression derselben (§. 69.) und endlich in einer zu geringen Beweglichkeit der Quecksilbersäule wegen der Adhäsion des Quecksilbers an den Glaswänden und der Schwierigkeit des Durchfliefsens durch die Krümmungen. Bei Barometern von verschiedenen Durchmessern stehen nämlich die Oberflächen (also die Mengen der eine Adhäsion darbietenden Puncte) des eingeschlossenen Quecksilbercylinders im einfachen, die bewegten Massen des Quecksilbers aber im quadratischen Verhältnisse der Durchmesser, weswegen die Adhäsion in weiten Röhren ungleich leichter überwunden wird. In Pistor's Werkstatt zu Berlin werden Heberbarometer von 9 Lin. Weite verfertigt, und es ist wohl nicht zweifelhaft, dafs solche, von aufserordentlicher Empfindlichkeit, am besten als Normalbarometer zu betrachten sind [1]).

2) Eine zweite nothwendige Bedingung eines guten Barometers ist Reinheit des Quecksilbers und Freiseyn desselben von Luft und Feuchtigkeit. Das Quecksilber bekommt man meistens von soliden Handlungshäusern hinlänglich rein und ohne Beimischung fremder Metalle, zur Entfernung

---

[1]) Vergl. v. Bohnenberger in Naturwiss. Abhandl. Tüb. 1827. I. p. 389

der Luft und Feuchtigkeit aber pflegt man dasselbe in der Röhre über Kohlen zu halten und in derselben sieden zu lassen. Sollen hierbei auch die lezten Antheile von Luft und Feuchtigkeit entweichen, so muſs das Quecksilber gleichzeitig in der ganzen Röhre zum Sieden gebracht werden, weil sonst das kältere und schwerere aus dem oberen Theile wieder in den unteren ausgekochten herabsinkt. Ist ein Barometer völlig von Luft und Feuchtigkeit frei, so zeigt das Quecksilber im oberen Theile der Röhre eine völlig ebene Oberfläche. Geh. Rath Pistor in Berlin behauptet, daſs ausgekochte Barometer eine concave Oberfläche, also die Wirkung der Capillar-Anziehung zeigen, was aber mit andern Erfahrungen nicht übereinstimmt.

3) Nicht minder wichtig ist die schärfste Genauigkeit und Feinheit des Maſses auf der Skale. Da die Länge der enthaltenen Quecksilbersäule durch die Stärke des Luftdruckes bedingt wird, so sind die Barometer keine Individuen, sondern alle müssen unter gleichen Bedingungen gleich hoch stehen; ist dieses nicht der Fall, so liegt die Ursache meistens an einem unrichtigen Maſse der Skale. Zur gröſseren Feinheit der Beobachtung pflegt man einen Nonius anzubringen, indem man auf einem kleineren, über der eigentlichen Skale verschiebbaren Skalentheile den Raum von 11 Linien in 10 Theile theilt, wodurch man Zehntheile der Linie erhält. Man kann auch auf der Skale die Linie in 4 Theile und auf dem Nonius die Länge von 6 Lin. in 25 Theile theilen, um Hundertstel einer Linie zu erhalten. In diesem Falle muſs die Skale durch eine Loupe abgelesen werden, und das Niveau des Quecksilbers durch eine Loupe mit einem Spinnenfaden abzulesen ist zur Vermeidung der Parallaxe sehr räthlich, wenn die Beobachtungen bis auf die angegebene Feinheit genau seyn sollen.

4) Die für Höhenmessungen bestimmten Barometer müssen mit einem Mechanismus zum Absperren des Quecksilbers versehen seyn, weil sonst die in der Glasröhre bewegliche Quecksilbersäule beim Transporte ausläuft, mit Luft vermengt wird und die Röhre zerschlägt. Auf kleine Strecken in ebenen Gegenden kann zwar jedes Barometer transportirt werden, wenn man es sanft in die horizontale Lage bringt und dann vorsichtig trägt, allein für weite Bergreisen ist eine Absperrung des Quecksilbers unerläſslich, und deswegen so schwierig, weil dieselbe so viel nachgeben muſs, als die Ausdehnung des Quecksilbers durch Wärme beträgt. Am einfachsten ist es, die Röhre durch ein Stäb-

chen Fischbein mit etwas umgebundener Baumwolle und Seidenfäden zu verstopfen (wie bei Pistor's Heberbarometern) oder das Quecksilber im Gefäſse durch einen ledernen Beutel mit einer Schraube zu heben, bis es dasselbe ganz ausfüllt (nach Fortin) oder dieses mit einem im Gefäſse verschiebbaren Embolus zu bewerkstelligen (nach Horner) oder die Röhre durch einen eisernen Cylinder mit einem Guerickeschen Hahne zu unterbrechen, welcher Mechanismus zwar das Quecksilber am festesten absperrt, zugleich aber keinen Raum für die Ausdehnung durch Wärme läſst, wenn nicht mit diesem eisernen Cylinder ein Reservoir von elastischem Gummi verbunden ist, in welches sich das ausgedehnte Quecksilber verbreiten kann (nach Loos).

Unter den auſserordentlich zahlreichen verschiedenen Arten von Barometern erfüllen die angegebenen Bedingungen am besten, und sind sonach die vorzüglichsten:

1) Die in Pistor's Werkstatt zu Berlin verfertigten Heberbarometer, welche sehr luftleer sind, eine sehr richtige und fein getheilte Skale haben, und an beiden Schenkeln Loupen mit Faden zur scharfen Beobachtung einer die Oberfläche der Quecksilbersäule berührenden horizontalen Ebene. Man hat indeſs neuerdings den von de Lüc den Heberbarometern eingeräumten Vorzug wieder in Zweifel gezogen, weil die Adhäsion der Quecksilbersäule an den Wandungen des Glases hauptsächlich bei wiederholten Schwankungen derselben und dadurch erzeugter Elektricität leicht von Einfluſs ist, und auſserdem wegen der ungleichen Capillardepression in beiden Schenkeln, deren einer luftleer, der andere aber dem freien Zutritte der Luft offen ist. Die Skale der Heberbarometer fängt meistens in der Mitte an, und geht nach beiden Schenkeln, wonach also die Summe beider abgelesenen Zahlen die wirkliche Barometerhöhe giebt. Für tägliche Beobachtungen ist das jedesmalige Addiren etwas mühsam.

2) Fortin's und (das noch vorzüglichere) Horner's Gefäſsbarometer. Bei diesem ist zu gröſserer Sicherheit die ganze Röhre vom Gefäſse an in eine messingene, mit dickem Leder gefütterte Röhre eingeschlossen, welche vorn und hinten von 14 bis 29 Zollen Höhe 1,5 Lin. weit aufgeschlitzt ist, um die Höhe der Quecksilbersäule durch diese Oeffnung gegen das Licht hin zu beobachten. Auf die Messingröhre ist die Skale aufgetragen, und ein über sie verschiebbares Röhrenstück, welches vermittelst einer

Schraube sanft bewegt werden kann, bildet den Nonius, dessen untere Fläche man vermittelst einer durchfallenden, verschwindend dünnen Lichtebene mit der oberen Wölbung der Quecksilbersäule beim Ablesen in Berührung bringt. Das Gefäfs besteht aus einem oben und unten in Stahl gefafsten gläsernen Cylinder, in dessen oberer Deckelplatte ein Löchelchen zum Eintritte der Luft geöffnet werden kann, und ein Stahlstift befestigt ist, bis an dessen Spitze das Quecksilber im Gefäfse hinausgeschoben wird, um hierdurch ein unveränderliches Niveau im lezteren zu erhalten. Im unteren Theile dieses Gefäfses befindet sich nämlich ein Embolus hauptsächlich von Kork, welcher vermittelst einer durch die untere stählerne Fassung des Gefäfses gehende Schraube auf und ab beweglich ist. Für den Transport schraubt man diesen bei dem horizontal gehaltenen Barometer so weit vorwärts, bis das Quecksilber im Gefäfse völlig abgesperrt ist, beim Gebrauche dagegen schraubt man ihn so weit zurück, bis dasselbe mit seiner Oberfläche den vorher genannten Stahlstift berührt [1]).

Alle bisher angegebene, sinnreich construirte Barometer sind nach dem Urtheile der Sachkundigen bei Transporten auf hohe und felsige Gebirge gegen das Zerbrechen nicht gesichert, weil die Glasröhre nicht füglich durch eine metellene ersetzt werden kann, und wegen ihrer Länge und des Gewichtes des enthaltenen Quecksilbers beim heftigen Fallen sicher zerschellet wird. Unter den verschiedentlich in Vorschlag gebrachten abgekürzten, dieser Gefahr nicht ausgesetzten, Barometern ist bei weitem am zweckmäfsigsten und den gemachten Forderungen völlig entsprechend dasjenige, welches August angegeben, v. Horner aber und noch mehr Parrot bequem einzurichten vorgeschlagen hat [2]). Ein cylindrisches gläsernes Gefäfs von etwas
Fig. 69.] über einem Zoll Durchmesser bcfd ist unten und oben so gefafst, dafs der obere Theil des Instrumentes, die

---

[1]) S. Gehler's Wörterb. Th. I. p. 784. wo dieses sinnreich construirte Barometer nach handschriftl. Mittheilung genau beschrieben ist. Der etwas künstlich construirte Embolus kann nach meinen jüngsthin gemachten Erfahrungen füglich durch einen blofsen verschiebbaren Kork ersetzt werden.

[2]) Die ursprüngliche Construction dieses sehr sinnreich ausgedachten sogenannten Differentialbarometers findet sich in Poggendorf Ann. III. 329, v. Horner's Verbesserungen in Gehler's Wörterb. II. p. 526. Parrot's (des jüngeren in Dorpat) brieflich mitgetheilte Vorschläge habe ich mit genügendstem Erfolge ausführen lassen.

Skale mit den zwei Glasröhren, abgeschroben werden kann, um diesen und den unteren, jeden für sich, nachdem lezterer oben mit einem Deckel zugeschroben ist, in einem geeigneten Futterale zu transportiren. In diesem Gefäfse befindet sich etwa 1 Z. hoch Quecksilber, welches die Enden der Glasröhren a b; c d nicht berührt, wenn der aus einem blofsen Korke bestehende Embolus α vermittelst der Schraube g bis auf den Boden herabgeschroben ist, dagegen in dieselben hinaufgedrückt werden kann, wenn man diesen Embolus in die Höhe schraubt. Geschieht lezteres bei irgend einer willkührlichen Elasticität der Luft, so wird diese in der oben verschlossenen Röhre a b so viel comprimirt, als der Höhe der in der offenen Röhre c d aufsteigenden Quecksilbersäule proportional ist, dann läfst sich aus lezterer die absolute Barometerhöhe finden. Es sind nämlich die Volumine der comprimirten Luft ihren Elasticitäten umgekehrt proportional, und es wird daher blofs erfordert, die Elasticität zu kennen, welche einer gegebenen Zusammendrückung zugehört, um hieraus die der lezteren direct proportionale absolute Elasticität derselben zu finden. Heifst daher der Inhalt der ganzen Röhre a b $= m$; der Inhalt γ a $= \alpha$; die Elasticität der Luft $= x$; das Gewicht der in der Röhre d c hinaufgeprefsten Quecksilbersäule $= \beta$, so ist

$$m : \alpha = x + \beta : x \text{ oder } m - \alpha : \alpha = \beta : x.$$

und hieraus $x = \frac{\alpha\beta}{m - \alpha}$. Nennt man $m - \alpha = n$, so wird

$$x = \frac{m - n}{n}\,\beta = \left(\frac{m}{n} - 1\right)\beta,$$ wonach x eine blofse Function von β ist. Man müfste hiernach vermittelst des Embolus α das Quecksilber bis zu einer willkührlichen Höhe γ hinaufpressen, dann die Quecksilbersäule in d c messen, und aus diesen Gröfen x berechnen. Zu gröfserer Bequemlichkeit und Sicherheit nimmt man ein constantes Verhältnifs der Gröfsen $\frac{m}{n}$ an, und zwar am besten auf folgende Weise. Die etwa 6 bis 8 Z. hohe Röhre a b wird unten plan geschliffen, dann mit Quecksilber überfüllt, und mit einer geeigneten kleinen Glasscheibe bedeckt, welche das überflüssige Quecksilber entfernt. Dieses gesammte Quecksilber wiegt man, nimmt davon genau den 4ten Theil desselben nach dem Gewichte, füllt diesen in die Röhre, bedeckt sie mit der Glasscheibe, kehrt sie um, schiebt den vorn und hinten mit einem horizontalen Strichelchen ver-

sehenen Schieber γ von durchscheinendem Wallrofszahn genau so hoch, dafs die durch die beiden Strichelchen gelegte Ebene gerade die Oberfläche des Quecksilbers berührt, und klebt den Schieber an dieser Stelle mit etwas Gummi fest. Hiernach ist $n = \frac{1}{4}$ wenn $m = 1$ ist, also $\frac{m}{n} = 4$; mithin $\frac{m}{n} - 1 = 3$ und $x = 3\,\delta$ Wird daher die der Röhre c d zugehörige Skale nebst deren Eintheilung 3mal kleiner als gewöhnliche Zolle, und schraubt man bei einer Beobachtung den Embolus α so hoch hinauf, dafs das Quecksilber in a b mit seiner oberen Wölbung die Ebene γ berührt, so lieset man an der Skale den Barometerstand unmittelbar ab, und bedarf dieses Barometer keiner Correction wegen der Temperatur, weil die Raumverminderung in der Röhre a b eine constante Gröfse ist, vorausgesetzt, dafs vor jeder Beobachtung die Röhre a b erst ganz offen war, damit die eingeschlossene Luft keine Ausdehnung durch Wärme erhält. Diesem Barometer steht also blofs die Kürze der Skale entgegen, welche eine dreimal gröfsere Fehlergrenze der Beobachtungen als bei gemeinen Barometern giebt; wenn man aber berücksichtigt, dafs man doch immer durch die Feinheit des Nonius vermittelst der Loupe 0,05 der um das Dreifache verkürzten Skale ablesen kann, dieser Apparat aber bei den heftigsten Erschütterungen dem Zerbrechen nicht ausgesetzt und so leicht zu transportiren ist, so bleibt er für Höhenmessungen ohne Widerrede der allein geeignete.

Obgleich das Barometer kein eigentliches Wetterglas (Instrument zur Bestimmung der Wetterveränderungen) ist, und daher die auf den Skalen so häufig befindlichen Bezeichnungen von Schön Wetter; Veränderlich; Sturm u. s. w. unzulässig sind, so kann man doch aus leicht begreiflichen Gründen von seinen Schwankungen auf Veränderungen in der Atmosphäre schliefsen, und es ist daher namentlich auch für die Seefahrer ein höchst wichtiger Apparat. Gewöhnliche Barometer werden aber durch die Schwankungen der Schiffe leicht zerschellet, und man giebt daher dem Seebarometer oben eine schwere metallene Kugel, welche das Gewicht des Quecksilbers im Gefäfse fast ganz compensirt, hängt dasselbe dann in seiner Mitte beweglich in einem gleichfalls beweglichen Ringe an einem etwa 1 F. hervorstehenden Arme auf, wodurch dasselbe

einem sehr langen Pendel gleichgemacht wird und nur langsam oscillirt. Man lieset dann bei den steten Schwankungen wiederholt den höchsten und tiefsten Stand desselben ab, und betrachtet das Mittel aus diesen als die eigentliche Barometerhöhe.

Da die Wärme das Quecksilber ausdehnt, und hiernach eine längere Säule desselben nicht stärker, als eine andere kürzere, aber um eben so viel spec. schwerere, drücken kann, so mufs die hiernach veränderliche Länge der Quecksilbersäule auf eine gewisse normale zurückgeführt werden. Zu diesem Ende befindet sich neben der Barometerröhre zugleich ein Thermometer, woran man die Temperatur mifst, um hiernach die jedesmalige Länge der Quecksilbersäule auf die normale zurückzuführen. Als Normaltemperatur nehmen einige 10° R. an, andere aber richtiger 0° C. Indem aber das Quecksilber innerhalb der bei Barometerbeobachtungen vorkommenden Grenzen sich für 1°C. um $\frac{1}{5550}$ seines Volumens ausdehnt, so mufs die aus der Wärme folgende Verlängerung der Quecksilbersäule für t Grade über 0° C abgezogen, unter 0° C. aber hinzuaddirt werden. Hiernach ist die corrigirte Länge $H' = H\left(1 \pm \frac{T}{5550}\right)$. Befindet sich die Barometerröhre, wie bei Fortin's und v. Horner's Barometern in einer messingenen Röhre, und die Skale auf der letzteren, so dehnt sich auch das Messing aus. Man kann diese Gröfse (§. 85.) $= 0{,}000019 = \frac{1}{52636}$ für 1° C. annehmen, und dann ist der Factor für diese Correction $= \frac{T}{5550} - \frac{T}{52636} = \frac{T}{6440}$, also $H' = H\left(1 \pm \frac{T}{6440}\right)$

Aufser dieser Correction, welche erforderlich ist, um die wirkliche Länge der Quecksilbersäule im Barometer völlig genau zu erhalten, ist noch eine andere aus der Capillardepression folgende nothwendig, sobald die Oberfläche des Quecksilbers nicht völlig eben ist. Insofern die Wölbung der Oberfläche der Quecksilbersäule das sichere Merkzeichen einer vorhandenen Depression, und diese jener proportional ist, so kann die Stärke derselben nicht füglich anders als hieraus bestimmt werden, und die folgende, von Schleiermacher und Eckhard aus ihren Versuchen berechnete Tabelle ist da-

her am meisten zur Auffindung derselben geeignet [1]), wobei sich von selbst versteht, dafs die Correction bei Gefäfsbarometern allezeit hinzuaddirt werden mufs, bei Heberbarometern aber für beide Schenkel zu suchen ist [2]).

Endlich ist nicht bei allen Barometern die Einrichtung des Gefäfses von der Art, dafs das darin enthaltene Quecksilber bis zu einer bestimmten gleichbleibenden Höhe (an die Spitze des festen Stiftes bei v. Horner's Barometer) gebracht werden kann. Wenn dann das Barometer fällt, so steigt das Quecksilber im Gefäfse, und umgekehrt, wobei im ersteren Falle die Säule desselben so viel kürzer und im zweiten so viel länger zu nehmen ist, als diese Gröfse beträgt. Die deswegen erforderliche Correction mufs entweder berechnet werden, oder in der Skale selbst enthalten seyn; Ersteres geschieht, wenn man jene Gröfse beim Fallen des Barometers von der gemessenen Barometerhöhe abzieht, beim Steigen aber hinzuaddirt, Lezteres aber, wenn man die Skale selbst so viel kleiner macht. Wäre z. B. der Durchmesser der Röhre = 1, des Gefäfses = 10, so verhalten sich die Quecksilbercylinder in beiden wie die Quadrate der Durchmesser, und wenn das Barometer um 1 Z. stiege oder fiele, so müfste man 1 + 0,01 Z. annehmen, oder man dürfte, vom mittleren Normalstande ausgehend, die Abtheilungen der Skale nur um ein Hundertstel verkürzen.

---

[1]) S. Delcros in Bibl. univ. Mai 1818. p. 1. Das eigentliche Mafs der Capillardepression und die Gründe, warum die hier mitgetheilte Tabelle unter verschiedenen andern allein richtige Werthe giebt, wird im §. 69 nachgewiesen werden.

[2]) Hat man Linien statt Millimetern, so lassen sich diese reduciren, indem man 1 Millim. = 0,443 Lin. setzt.

Depressionen des Quecksilbers im Barometer in millim., nach Schleiermacher und Eckhart für a = der Höhe der Chorde des Meniscus und b = dem rad. der Röhre.

a =	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
b = 0,5	4,957	8,912	12,560	12,616							
1	1,262	2,450	4,377	5,581	6,098	6,171					
2	0,299	0,595	1,152	1,643	2,037	2,338	2,541	2,658	2,681	2,699	2,712
3	0,121	0,242	0,476	0,695	0,839	1,066	1,206	1,316	1,397	1,449	1,483
4	0,068	0,120	0,240	0,354	0,464	0,546	0,530	0,702	0,758	0,805	0,638
	0,634	0,069	0,138	0,205	0,247	0,299	0,308	0,390	0,428	0,468	0,476

Es sey z. B. bei einem Heberbarometer der Halbmesser der Röhre in beiden Schenkeln b = 3; die Höhe der Chorde des Meniscus a im langen Schenkel = 0,4, im kurzen dagegen = 0,8, so ist

obere Differenz = + 0,476
untere — = − 0,839
Correction der Depression = − 0,363.

Sollen die Höhen der Berge vermittelst des Barometers gemessen werden, so müssen wegen der täglichen Veränderungen des Barometers (§. 264) das eine an einem tieferen, nicht zu weit entlegenen Orte von bekannter Erhebung über den Meeresspiegel, das andere auf der zu messenden Höhe, beide wo möglich gleichzeitig beobachtet werden. Um aber die Höhe eines Ortes aus dem mittleren Barometerstande eines Ortes zu bestimmen, mufs man diesen mit der mittleren Barometerhöhe im Niveau des Meeres vergleichen, welcher jedoch noch keineswegs mit völliger Genauigkeit ausgemittelt ist. Nach den von mir [1]) angestellten Untersuchungen nehmen die mittleren Barometerhöhen vom Aequator nach den Polen hin zu, und sind auf 0°C. reducirt für 9 Uhr Morgens in gewifs sehr genäherten, wo nicht absolut richtigen Werthen folgende:

	Barometer.			Barometer.	
Breite	Lin.	mm.	Breite	Lin.	mm.
00°	337,000 =	760,214	50°	338,093 =	762,682
10	337,056 =	760,341	60	338,397 =	763,367
20	337,218 =	760,706	70	338,644 =	763,928
30	337,465 =	761,266	80	338,806 =	764,290
40	337,769 =	761,951	90	338,862 =	764,414

Uebrigens kann der mittlere Barometerstand an den meisten Orten, hauptsächlich unter höheren Breiten und wo örtliche Bedingungen wirken, nur aus mehrjährigen Beobachtungen erhalten werden, namentlich in Küstenländern, wo wegen der häufigen Wechsel der Witterung wahrscheinlich nicht selten eine geringere Höhe als die normale, aus Beobachtungen gefunden wird.

Die barometrischen Höhenmessungen beruhen auf folgenden Gründen. Da die Länge der Quecksilbersäule im Barometer, als einer communicirenden Röhre gedacht, der Höhe der Luftsäule multiplicirt mit dem Factor seines spec. Gewichtes gleich ist, so mufs die Höhe beider Flüssigkeitssäulen in gleichem Verhältnisse abnehmen, und es läfst sich

1) Gehler's Phys. Wörterb. Th. I. p. 918. Es ist mir wohl bekannt, dafs Hansteen, S. Magazin for Naturvidenskaberne 1824. Hft. 2., seitdem gerade das Entgegengesetzte, nämlich eine zunehmende Barometerhöhe von den Polen nach dem Aequator hin, als Regel aufgestellt hat, allein ich bin nicht geneigt, von jener meiner Meinung abzugehen. Die Gründe hierfür würden hier zu weitläuftig seyn.

daher bei unverändertem Luftdrucke von der verminderten Länge der Quecksilbersäule auf eine proportionale Verkürzung der Luftsäule schliefsen, welche leztere nur dadurch möglich ist, dafs man sich über die Oberfläche der Erde erhebt. Das spec. Gewicht des Quecksilbers gegen Luft ist 10494 : 1 und wenn dann die Barometerhöhe 28 Z. beträgt, so ist die Höhe der Luftsäule = 24489 Fufs. Weil aber die Luftschichten nicht überall gleich dicht (und schwer) sind, indem jede folgende durch eine geringere Anzahl gleichschwerer Luftschichten gedrückt wird, so gehören zu den abnehmenden Barometerhöhen nicht gleiche, sondern wachsende Höhen der Luftsäule. Nach dem Mariotteschen Gesetze ist aber das Volumen der Luft dem Drucke umgekehrt proportional, und man darf daher nur die Schichten in eben diesem Verhältnisse wachsend annehmen. Theilt man diesemnach sowohl die Quecksilbersäule des Barometers als auch die sie hebende Luftsäule in 2800 Schichten (jede jener ersteren = 0,01 Z.), und läfst jede folgende Luftschicht dem verminderten Luftdrucke proportional wachsen, summirt sie dann sämmtlich, so hat man die den verschiedenen Barometerständen vom Spiegel des Meeres an aufwärts zugehörigen Höhen, wie sie in folgender Tabelle für einen geringen Theil aufgestellt sind.

Barometerhöhen.	Factor.	Höhe der Luftschichten.	deren Summen.
28,00 Z.	$\frac{1}{2800} \times$ 24489	8,746 F.	0,000
27,99 ⸗	$\frac{1}{2799} \times$ —	8,749 ⸗	8,746
27,98 ⸗	$\frac{1}{2798} \times$ —	8,752 ⸗	17,495
27,97 ⸗	$\frac{1}{2797} \times$ —	8,755 ⸗	26,250
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
27,80 ⸗	$\frac{1}{2780} \times$ —	8,809 ⸗	175,516

Wird diese Tabelle bis zu 100 Gliedern fortgesetzt, so erhält man für 27,00 Z. die Summe der Höhen = 890,4 F., wobei leicht zu übersehen ist, dafs hierbei die nicht voll 9 F. hohen

Luftschichten von durchaus gleichmäfsiger Dichtigkeit angenommen werden, welches zwar nicht absolut richtig ist, aber doch ohne merklichen Fehler geschehen kann [1]). Stellt man für alle Barometerstände von 29 Z. bis 14 Z. die erste und lezte Columne zusammen, so findet man für alle vorkommende Fälle die gemessenen Höhen, wenn man die zwei Barometerständen zugehörigen Summen von einander abzieht, da das nämliche Gesetz für die ganze Luftsäule gilt, und man also bei jeden zwei willkührlichen Puncten in derselben anfangen kann. Diese Methode, welche die Mariottesche oder Schichtenmethode heifst, ist die einfachste, die berechneten Höhen müssen jedoch auf gleiche Weise, als die nach der logarithmischen oder Halley'schen Methode gefundenen corrigirt werden, hauptsächlich mufs man dieselben für $t'' = \frac{t+t'}{2}$, wenn t die Temperatur der unteren, t' der oberen Station bezeichnet, und t'' in Cent. Graden gegeben ist, mit $(1 + t'' 0{,}00375)$, wenn in 80theiligen mit $(1 + t'' 0{,}0048)$ multipliciren (Vergl. §. 82).

Um den Grund der Halley'schen oder logarithmischen Methode sich einfach vorzustellen, darf man nur berücksichtigen, dafs nach dem Mariotte'schen Gesetze den gleichen Theilen der mit der Erhebung abnehmenden Quecksilbersäule nach einem stets gleichmäfsigen Gesetze wachsende Höhen der Luftschichten zugehören, mithin dafs jene eine arithmetische, diese eine geometrische Reihe bilden, wonach also jene die Logarithmen von diesen sind, und man demnach nur den Unterschied der Logarithmen jener zu suchen hat, um die Höhen der zwischenliegenden Luftschichten zu finden.

Wird dieser Satz geometrisch demonstrirt, so verhalten sich die Dichtigkeiten der atmosphärischen Luft wie die Pressungen, oder $D' : D = p : P$, also $D' = \frac{Dp}{P}$. Es wird aber die Pressung der Luft um ein verschwindendes Element (ein Differential) abnehmen, wenn die Höhe, zu welcher man sich erhebt, um ein verschwindendes Element wächst, und beide werden einander gleich seyn, wenn man das leztere im Verhältnifs der Zusammendrückungen nimmt also wenn h die Höhe bezeichnet

---

[1]) Es läfst sich zeigen, dafs bei 5500 F. Höhe der Fehler — 1 F. beträgt.

$$dp = -\frac{Dp}{P}\,dh \text{ oder } \frac{dp}{p} = -\frac{D}{P}\,dh.$$

Die Integration giebt Const. — log. $p = \frac{D}{P}\,h$, und da für $h = 0$ die Gröfse $p = P$ wird, also Const. $=$ log. P ist, so wird log. $\frac{P}{p} = \frac{D}{P}\,h$, woraus $h = \frac{P}{D}$ (log. P — log p) wird. Indem nun für 0° Temperatur und 45° N. B. durch Biot und Arago das Dichtigkeitsverhältnifs des Quecksilbers $= D = \frac{1}{10466,8}$ für $P = 336,9049$ Lin. gefunden ist (§. 43), so wird $\frac{P}{D} = 24488,307$ par. Fufs, und hiernach

$$h = 24488,307 \text{ log. nat. } P - \text{log. nat. } p.$$

Diese Logarithmen auf die gemeinen Briggischen gebracht, und deswegen den beständigen Factor mit dem Modulus derselben $= 2,302585093$ multiplicirt, giebt

$$h = 56386,41 \text{ log. vulg. } \frac{P}{p}.$$

Hiernach fände man also die Höhe in par. F., wenn man die Logarithmen der Barometerhöhen mit dem aufgefundenen beständigen Factor multiplicirt, wobei jedoch zu berücksichtigen, dafs die Zahlenbestimmungen für Quecksilber und Luft bei 0° C. gefunden sind. Schon aus diesem und andern bereits angezeigten Gründen bedarf daher diese Formel verschiedene Correctionen.

1) Da die Schwere mit der Höhe abnimmt, so müfsten beide Quecksilberhöhen hierfür corrigirt, und also $P' = P\,\frac{r^2}{(r+h)^2}$ und $p' = p\,\frac{r^2}{(r+H)^2}$ in die Formel eingeführt werden, wenn r den Halbmesser der Erde und h ; H die Erhebungen der Beobachtungsörter über dem Meeresspiegel bezeichnen. Indefs ist diese Verbesserung so geringe, dafs man sie füglich weglassen kann, zumal da H erst vermittelst der uncorrigirten Formel in genähertem Werthe zu suchen wäre. Will man sie bei sehr grofsen Höhen dennoch aufnehmen, so genügt es $P' = P\left(1 - \frac{2h}{r}\right)$ und $p' = p\left(1 - \frac{2H}{r}\right)$ zu setzen.

2) Das Quecksilber wird durch Wärme ausgedehnt, und der Barometerstand hiernach höher gefunden, wie oben

schon erwähnt ist. Weil aber die Zahlenwerthe der Formel für Quecksilber bei 0° C gefunden sind, so muſs man dasselbe hierauf zurückbringen, und diesemnach $P'' = P'\left(1 - \frac{T}{5550}\right)$ und $p'' = p'\left(1 - \frac{T'}{5550}\right)$ nehmen, wenn T und T′ die auf beiden Stationen beobachteten Grade der am Barometer befindlichen Thermometer bezeichnen [1].

3) Da die Schwere vom Aequator nach den Polen hin zunimmt, so muſs die hierfür erforderliche Correction (§. 34 Nro. 3) nämlich $(1 - 0{,}002711 \cos. 2\varphi)$ gleichfalls in die Formel aufgenommen werden. Biot hat die aus dieser Formel folgenden Correctionen, nämlich die Factoren, womit die gefundenen Höhen zu multipliciren sind, von 5 zu 5 Graden berechnet [2]) Die Tabelle läſst sich leicht für zwischenliegende Grade interpoliren, und bequemer als der angegebene Factor anwenden [3]).

Breite	Factor	Breite	Factor
0°	$+\frac{1}{352}$	50°	$-\frac{1}{2030}$
5	$+\frac{1}{358}$	55	$-\frac{1}{1030}$
10	$+\frac{1}{375}$	60	$-\frac{1}{705}$
15	$+\frac{1}{407}$	65	$-\frac{1}{548}$
20	$+\frac{1}{460}$	70	$-\frac{1}{460}$
25	$+\frac{1}{548}$	75	$-\frac{1}{407}$
30	$+\frac{1}{705}$	80	$-\frac{1}{375}$
35	$+\frac{1}{1030}$	85	$-\frac{1}{358}$
40	$+\frac{1}{2030}$	90	$-\frac{1}{352}$

1) Meistens pflegt man nur die Höhe des einen Barometers für die Differenz seiner Wärme und der des andern zu corrigiren. Weil aber der Zahlenwerth des beständigen Factors für Quecksilber bei 0° C. gefunden ist, so entsteht hieraus bei groſsen Höhen ein kleiner Fehler.

2) S. Traité d'Astronomie Physique. Par. 1811. III vol. 8. III. Addit. p. 46.

3) Es versteht sich, daſs bei 45° keine Correction stattfindet.

4) Die Wärme dehnt die Luft aus, die gleichen Quecksilberhöhen zugehörigen Luftschichten nehmen im geraden Verhältnifs dieser Ausdehnung zu, und es mufs daher ein hiernach zu bestimmender Factor in die Formel eingeführt werden. Man geht hierbei von der nicht völlig erwiesenen, aber doch sehr wahrscheinlichen Voraussetzung aus, dafs die Temperatur der ganzen Luftsäule das arithmetische Mittel zwischen der an beiden Stationen beobachteten sey, und da die Luft sich für jeden Grad der Centesimalskale um $\frac{1}{266,67}$ ihres Volumens von 0^0 an gerechnet ausdehnt, so ist der für die Wärme-Correction erforderliche Factor $= \frac{t + t'}{2 \times 266,67}$, wenn t und t′ die an beiden Stationen im Freien beobachteten Thermometerstände bedeuten.

5) Die atmosphärische Luft ist nie trocken, und die mit der Temperatur zunehmende Menge des Wasserdampfes macht die Luft bedeutend leichter, mithin die Höhen gröfser, als die Formel sie giebt. Weil dann zugleich die Menge des Wasserdampfes mit der Temperatur wächst, so pflegt man den eben angegebenen Factor für die Wärme-Correction auf $\frac{1}{250}$ zu erhöhen, welches auch hinlänglich genau ist. Will man indefs den Feuchtigkeits-Coefficienten gleichfalls einführen, so wollen wir diesen einstweilen mit k bezeichnen, und die Bestimmung nachher suchen.

Mit allen diesen Correctionen heifst also die Formel:

$$h = 56386,41\ (1 + 0,0027\,11\ \cos.\ 2\varphi) \left(1 + \frac{t + t'}{533,33}\right) (\log.\ P'' - \log.\ p'')\ k.$$

Zur Bestimmung des Coefficienten k führt folgende Betrachtung. Der Wasserdampf in der Atmosphäre ist leichter als die Luft, und vermindert also ihren Druck, weswegen die Höhen so viel geringer gefunden werden. Um die in der Atmosphäre befindliche Menge desselben aufzufinden mufs man sich eines Hygrometers bedienen, welches diese angiebt, wie in §. 96 gezeigt wird. Auch bei dieser Correction, wie bei der für die Wärme, mufs dann die vorhandene Menge desselben dem arithmetischen Mittel aus der an beiden Stationen gefundenen gleich gesetzt werden. Aus der §. 93 mitgetheilten kurzen Tabelle der Elasticitäten und Dichtigkeiten des Dampfes lassen sich diese beiden Gröfsen

entlehnen, und hieraus der aliquote Theil desselben in der Atmosphäre, mithin auch die Gröfse finden, um welche das Gewicht der Luftschichten zu grofs genommen würde, also auch der Factor, womit deshalb die gefundene Höhe multiplicirt werden mufs. Heifst nämlich die mittlere Elasticität der Luftschicht E; die des Dampfes e und $E' = E - e$; nennt man ferner die Dichtigkeiten des Dampfes an beiden Stationen δ und δ' und das arithmetische Mittel aus beiden, also $\frac{\delta + \delta'}{2} = \delta''$, so ist $k = \frac{1}{1 - \delta'' \frac{E'}{28\,Z}}$. Es sey z. B. der Thaupunct, oder Condensationspunct des in der atmosphärischen Luft enthaltenen Wasserdampfes unten bei 18° C.; oben bei — 4° C. gefunden, so sind für diese Temperaturen die Elasticitäten des Wasserdampfes = 0,5081 und 0,0923 par. Z. also $e = \frac{0{,}5081 + 0{,}0923}{2} = 0{,}3002$ als mittlere Elasticität zu betrachten. Es sey dann ferner $P'' = 28$ Z. und $p'' = 18$ Z. beobachtet, also $E = \frac{P'' + p''}{2}$, so ist $E - e = E' = 22{,}6998$. Die Dichtigkeiten des Wasserdampfes für 18° C. und — 4° C. oder δ und δ' sind 0,0111486 und 0,002198 gegen Luft bei 0° Temperatur und unter 28 Z. Quecksilberdruck; es ist also $\delta'' = \frac{0{,}0111486 + 0{,}002198}{2} = 0{,}0066733$, und $k = \frac{1}{1 - \frac{22{,}7}{28}} \times 0{,}0066633 = 1{,}0054393\ldots$ womit sonach die nach der Formel für völlig trockne Luft gefundene Höhe zu multipliciren wäre.

Verlangt man von Barometermessungen einen höheren Grad der Genauigkeit, so ist nothwendig zwei Barometer in möglichst lothrechter Richtung über einander (also da dieses meistens unmöglich ist, in nicht zu grofser Entfernung) gleichzeitig zu beobachten, und insbesondere einseitige Erwärmungen der Luftschichten an einer der beiden Stationen zu vermeiden Solche Tagszeiten, an welchen ein schwacher Wind wehet, die Luft schön hinlänglich erwärmt ist, und bedeckter Himmel gegen örtliche Erwärmungen schützt, sind daher am geeignetsten. Die Fehler der Messungen beruhen wohl ausschliefslich auf unrichtigen

Bestimmungen der Wärme und des Feuchtigkeitszustandes der Atmosphäre [1]).

Nähme die Dichtigkeit der Luft nach dem Innern der Erde in gleicher Progression zu, so läfst sich mit Weglassung der Correctionen nach de Luc's Formel für Barometermessungen, nämlich $h = 10000^t \log. \frac{P}{p}$ die Dichtigkeit des Wassers : Luft = 800 : 1, des Platin : Wasser = 20 : 1 die Meile = 3807^t gesetzt, berechnen dafs sie bei 7,6 Meil. dichter als Wasser, bei 11,1 Meil. dichter als Platin seyn würde [2]).

Um die Veränderungen der Elasticität einer eingeschlossenen Luftmasse zu bestimmen, kann man sich mit grofsem Vortheile des Manometers bedienen. Eine krummgebogene Glasröhre, etwa 1 bis $1\frac{1}{2}$ Lin. weit, die darin enthaltene Luft mit etwas Quecksilber gesperrt, und durch eine Skale in 100 Th. getheilt, ist hierzu völlig hinreichend [3]). Ein solches Manometer ist auch das Sympiezometer, von Adie in Edinburg erfunden, nämlich ein Gefäfs, worin Stickgas durch Oel oder Quecksilber abgesperrt ist, und durch seine Ausdehnung oder Zusammenziehung den verminderten oder vermehrten Luftdruck zeigt [4]). Weil aber das

---

[1]) Zur Lit. S. Pascal traité de l'equilibre de liqueurs et de la presanteur de la masse de l'air Par. 1698. Kästner Anm. über d. Markscheidek Gött. 1775. Mollweide bei Gehlen IV. 452. Mon Cor. XXIII. p. 594. J. d. ph. LXX. 437. Memoires sur la formule barometrique cet. par. L. Ramond. Clermond-Ferrand 1811. 4. Bohnenberger T. Pl. 1. Gaufs astr. Jahrb. 1818. p. 170. Erläuterung der Theorie mit Tabellen zur Rechnung enthalten: Benzenberg Beschreib. eines einfachen Reisebarometers. Düsseld. 1811. Tables hypsometriques par Jabbo Oltmanns. Par. 1809. Tables barometriques cet. par Bernhard. de Lindenau. Leipz. 1809. Tables baromet. portatives par Biot. Par. 1811. Tabellen für barometr. Höhenmessungen von C. Garthe. Giefsen 1817. Siehe auch Hal. Lit. Z. 1812. n 9. Tavole pel Calcolo delle Altezze barometriche di Fr. Carlini. Milano 1823. 8. Brandes in Gehlers Wörterb. Th. V. p. 282. La Place's Formel so modificirt, dafs sie leicht in Tabellen gebracht werden kann, von Littrow in Bullet. de la Soc. Philom. 1825. Fevr. p. 17. Ueber Höhenmessungen durch das Barometer. Von J. J. Littrow u. s. w. Wien 1803. 4. Anderson über die Correctionen wegen der Feuchtigkeit in Edinb. Phil. Journ. XXIV. 218. XXVI. 224. von Bohnenberger in Naturwiss. Abh. Tüb. 1828. II. 181. u. v. a.

[2]) Vergl. Fischer Natl 285.

[3]) Davy bei G. XVI. 105.

[4]) S. Schweigger's Journ. N. F. V. 71.

Gas auch durch Wärme ausgedehnt wird, welches eine Correction erfordert, so ist das Werkzeug beschwerlich und unsicher.

§. 55.

Die Luft als schwere Flüssigkeit ist den statischen Gesetzen unterworfen, und es mufs daher ein jeder Körper in ihr so viel von seinem Gewichte verlieren, als ein gleiches Volumen derselben wiegt. Dieses kommt in Betrachtung bei der Bestimmung des spec. Gew. der Körper und bei der Aeronautik.

Das spec. Gewicht der Luft ist §. 43. angegeben, und es folgt aus seiner geringen Gröfse von selbst, dafs man den statischen Einflufs desselben bei gewöhnlichen Wägungen füglich vernachlässigen kann, obgleich jeder Körper, wenn er in der Luft gewogen wird, den Wägungen in Wasser ganz analog um so viel leichter gefunden werden mufs, als ein dem seinigen gleiches Volumen Luft wiegt. Ist daher das spec. Gewicht der Luft $= 0{,}00129$, des gewogenen Körpers $= \Pi$, das absolute Gewicht des lezteren $= p$, so ist sein corrigirtes $p' = p\ 1 - 0{,}00129 : \Pi$. Wäre $\Pi = 10$, so würde ein solcher Körper hiernach nur etwas über ein Zehntausendstel seines Gewichtes weniger wiegen, und es ergiebt sich hieraus, dafs diese Correction dem specif. Gewichte der Körper umgekehrt proportional ist. Hierauf gründet sich die durch Fouchy und Gerstner angegebene, durch G. G. Schmidt vorzüglich gebrauchte Luftwaage oder das Dasymeter [1]). An den einen Arm eines empfindlichen Waagebalkens wird ein möglichst specifisch schweres Gewicht (von Blei, besser von Platin), an den andern eine gleich schwere Glaskugel von möglichst dünnem Glase gehangen. Weil dann der aërostatische Einflufs der Luft auf diese beiden Körper so sehr ungleich ist, so wird die Kugel gehoben werden, wenn die Luft kälter wird und das Barometer steigt. Ganz dünne gläserne Kugeln von nicht mehr als 3 bis 4 Z. Durchmesser an feinen Waagebalken zeigen dieses schon, am deutlichsten, wenn man diese kleinen Apparate unter einer Campane auf die Luftpumpe bringt, und exantlirt.

Da das spec. Gewicht der Luft $= 0{,}00129$ ist, und ein Cubikfufs Wasser nahe 73 ℔. Cöln. wiegt (§. 51.), so beträgt

---

[1]) Hauf physiocratischer Briefwechsel Ht. I. p. 1.

das Gewicht eines Cub. F. Luft 0,00129 x 73 = 0,09417 ℔. Nimmt man Luft von mittlerer Wärme bei 20° C., so ist deren Gewicht $= \frac{0{,}09417}{1 + 20 \times 0{,}00375} = 0{,}087 \ldots$ ℔. (da die Wärme die Luft für jeden Grad der hundertheil. Skale um 0,00375 ihres Volumens ausdehnt), wofür man meistens 0,08 ℔. setzt, und ein Würfel von 10 F. Seite wiegt also 80 ℔. Daſs das Gewicht der Luft keineswegs so geringe sey, als man meistens nach Schätzung annimmt, läſst sich zeigen, wenn man eine Kugel erst mit Luft gefüllt, und dann luftleer wiegt. Inzwischen zeigt dennoch das geringe Gewicht der Luft, daſs keine andere Körper, auſser Expansibilien, in derselben statisch schwimmen können. Alle früheren Versuche scheiterten daher, bis D. Black in Edinburg und bald darauf Lichtenberg in Göttingen 1782 Seifenblasen mit dem von Cavendish 1766 entdeckten Wasserstoffgas gefüllt aufsteigen lieſsen. Während Stephan und Robert Montgolfier im folgenden Jahre groſse papierne Schläuche mit erhitzter Luft füllten, lieſsen Charles und Robert Ballons von gefirniſstem Taffent mit Wasserstoffgas aufsteigen. Seitdem wurde die Aëronautik allgemein bekannt. Man unterscheidet seitdem Montgolfieren und Luftballons.

Die *Montgolfieren* in kleinerem Maſsstabe sind papierne Schläuche von eiförmiger Gestalt, welche indeſs nicht wohl weniger als 5 bis 20 Cub. F. Inhalt haben dürfen. Unten haben dieselben eine durch einen leichten Ring ausgespannte Oeffnung, in deren Mitte ein mit Weingeist getränkter Badeschwamm an zwei sich kreuzenden Drähten aufgehangen wird. Entzündet man den Weingeist, so erwärmt die Flamme die Luft in dem Schlauche, macht sie dadurch ausgedehnter und leichter, und diese hebt zulezt den Schlauch. Die leichtesten und zartesten Montgolfieren sind diejenigen, welche v. Hebenstreit in München durch die Weberraupe (tinea euonymella) weben läſst; sie steigen auf, wenn man sie über einige auf den Fuſsboden gegossene und angezündete Tropfen Weingeist hält. Gröſsere, zum Aufsteigen der Aëronauten dienende, Montgolfieren werden aus gefirniſstem Baumwollenzeuge verfertigt, über einem Heerde durch Kohlenfeuer erhitzt, und eine in die Oeffnung gehangene Weingeistlampe, meistens mit 24 brennenden Dochten, erhält sie bei der erforderlichen Temperatur.

Die *Charlieren* oder eigentlich so genannte Luftballon's sind kugelförmig, unten mit einem verschlieſsbaren Schlauche

versehen, und werden mit Wasserstoffgas gefüllt. Die kleinsten sind von den sogenannten Schafhäutchen, welche Cigansky in Göttingen (so viel ich weiſs allein) verfertigt, und können nicht kleiner seyn als 3 par. Z. im Durchmesser, jedoch steigen solche, deren Inhalt nicht mehr als 0,25 Cub. F. beträgt, sehr leicht. Gröſsere verfertigt man aus Goldschlägerhaut, und die zur Aëronautik bestimmten aus gefirniſstem Taffent. Der Ballon wird dann mit einem Netz aus Schnüren überzogen, welche nach unten zuerst in 32 dann in 16 Seile zusammenlaufen und zum Tragen der Gondel bestimmt sind. Leztere besteht aus einem Gerippe von Weidenstäben, mit Schnüren durchflochten, und muſs zugleich leicht, stark und so hoch seyn, daſs die Aëronauten bei den starken Schwankungen nicht herausgeschleudert werden.

Ein jeder Ballon steigt mit so viel Kraft in die Höhe, als die Differenz seines Gewichtes und einer gleich groſsen Luftmasse beträgt. Ist daher sein cub. Inhalt $= J$, das Normalgewicht des Wassers $= p$, das spec. G. für Luft $= w$, für Wasserstoffgas $= w'$, das Gewicht der Hülle des Ballons, der Seile, des Schiffes und der darin liegenden Effecten $= \varrho$, so ist die Steigkraft eines Luftballons $S = Jp(w - w') - \varrho$, einer Montgolfiere aber $S = J p w\, t\, 0{,}00375 - \varrho$.

Wird die in der Montgolfiere eingeschlossene Luft bis auf 100° C. erhitzt, so wird sie um 0,375 ihres Volumens, dieses bei 0° C. als Einheit angenommen, ausgedehnt, also auch um eben so viel leichter, und wenn man dieses $= \frac{1}{3}$ setzt, das Totalgewicht der eingeschlossenen Luft $= P$ nimmt, so ist die ihn hebende Kraft $= \frac{P}{3}$, von welcher ϱ abgezogen werden muſs, um die Steigkraft zu finden. Betrüge diese noch $\frac{1}{n}$ des ganzen Gewichtes der Montgolfiere, so würde sie so hoch steigen, bis die Luft $\frac{1}{n}$ dünner wird, und in dieser Höhe im Gleichgewichte bleiben. Das Wasserstoffgas ist zwar ohngefähr 15mal leichter als atmosphärische Luft; allein da es für diesen Zweck im Groſsen nicht mit Sorgfalt bereitet werden kann, und daher sehr unrein ist, so wird es nur 7, bis höchstens 10mal so leicht angenommen. Hiernach beträgt die den Ballen hebende Kraft, wenn man dasselbe im Mittel 8mal leichter annimmt, $P\,\frac{7}{8}$; die hebenden Kräfte beider verhalten sich also wie $\frac{1}{3} : \frac{7}{8}$

oder wie 8 zu 21 und wenn das Gas nur 9mal so leicht wäre, wie 1 zu 3, wonach also eine Charliere dreimal kleiner seyn kann, als eine Montgolfiere, um eine gleiche Last mit gleicher Steigkraft zu heben. Indem ferner die Dichtigkeit der Luft in zunehmender Höhe gleichmäſsig mit ihrer Elasticität abnimmt (den Temperaturunterschied nicht berücksichtigt), mithin das in der Charliere eingeschlossene Gas der erreichten Höhe proportional ausgedehnt und leichter wird, so würde dieselbe ohne Ende mit gleicher Steigkraft aufsteigen, wenn ihr Volumen einer steten Vergröſserung fähig wäre. Hierin liegt aber die Gefahr des Platzens, der Grund, warum ein Theil des Ballons unaufgeblasen bleibt, und die Nothwendigkeit einer Sicherheitsklappe, um einen Theil des Gases ausströmen zu lassen, wenn sein Druck gegen die Hülle zu stark wird.

Unter allen Vorschlägen, die lothrechte Bewegung der Aërostaten zu bestimmen, scheint bis jetzt nur ein einziger anwendbar, nämlich unter der hauptsächlich tragenden Charliere eine Montgolfiere anzubringen, und die Steigkraft der lezteren durch mehr oder weniger brennende Flammen nach Willkühr zu bestimmen. Die erste groſse Maschine dieser Art war diejenige, womit Pilatre de Rozier und Romains i. J. 1785 zwischen Calais und Boulogne aufstiegen und nach der Entzündung derselben aus einer unermeſslichen Höhe herabstürzten. Die willkührliche horizontale Lenkung der Aërostaten wird wohl ein unauflösbares Problem bleiben, indem der einzige ausführliche Vorschlag, welchen der Graf Zambeccari gethan hat, nämlich durch willkührliches Höhersteigen die geeignete Luftsrömung aufzusuchen, der Natur der Sache nach unsicher und unvollkommen bleibt. Daſs übrigens die Aëronautik, so viele Vortheile sie übrigens verspricht, und bei der auſserordentlichen Schnelligkeit der hierdurch möglichen, in jeder Hinsicht bequemen und sicheren Reisen zuverlässig gewähren würde, noch so geringe Fortschritte gemacht hat, davon liegt die Ursache hauptsächlich in zwei Hindernissen. Zuerst nämlich ist kein Stoff bekannt, welcher für Charlieren hinlänglich biegsam und das Gas auf die Dauer gar nicht durchlassend wäre, und zweitens bewegen sich groſse Maschinen selbst bei mäſsigem Winde mit solcher Geschwindigkeit und Gewalt, daſs nicht leicht ein Mittel erdacht werden kann, wie man eine solche ohne Verlust des Gases und groſse Gefahr für die Aëronauten an einem bestimmten Orte festhalten könnte.

Ein Sicherungsmittel der Aëronauten ist der von Le Normand erfundene Fallschirm [1]), ein gewöhnlicher, aber grofser, 10 bis 15 F. im Durchmesser haltender Schirm, welcher geschlossen am Aërostaten hängt, und sich erst beim Herabstürzen des Aëronauten durch den Widerstand der Luft entfaltet. Die unter demselben comprimirte Luft, deren Widerstand wächst, so wie ihre Menge gröfser wird und sie unter der breiten Fläche weniger leicht entweichen kann, vermindert die beschleunigte Geschwindigkeit des Fallens so, dafs sie nicht gröfser wird, als wenn der Mensch von einer Höhe herabgefallen wäre, von welcher er ohne Gefahr grofser Verletzung herabspringen könnte, also etwa 4 bis 6 Fufs [2]). Man sieht also hieraus, dafs das Herabstürzen damit, so grauenvoll es zu seyn scheint, nicht gefährlich ist, jedoch mufs der Fallschirm die erforderliche Gröfse haben, und richtig construirt seyn, damit der Schwerpunct tief genug unter dem Widerstandspuncte liege [3]).

2) Pneumatik.

§. 55.

Manche Gasarten wirken bei ihrer Verbindung auf einander, wodurch die Gesetze ihres statischen und mechanischen Verhaltens modificirt oder aufgehoben werden. Findet eine solche Wirkung nicht statt, so lagern sie sich nicht statisch über einander, sondern werden gemengt, obgleich vor vollendeter Mengung ein Aufsteigen der leichteren und Herabsinken der schwereren statt findet. Lezteres ist aber namentlich der Fall, wenn gewisse Luftsäulen durch erhöhte

---

[1]) S. Gilb. Ann. XVI. 156

[2]) Wegen der hierzu erforderlichen Berechnung, welche hier zu weitläuftig seyn würde, verweise ich auf Gehler's Wört. Art. Fallschirm.

[3]) S. Foujas de S. Fond Beschreibung d. Versuche mit den aërostatischen Maschinen a. d. F. Leipzig 1784. Fortgesetzte Beschreibung u. s. w. Leipz. 1785. Geschichte d. Aërostatik, historisch, physisch u. mathem. ausgeführt (von Kramp). Strasb. 1784. Anhang zur Geschichte der Aërost. Ebend. 1785. Vergl. G. LVII. 428. Am meisten Aufmerksamkeit verdient A. W. Zachariä die Elemente d. Luftschwimmkunst. Wittenb. 1807. Ueber verschiedene interessante Luftfahrten s. Gilb. Ann. XIX. XX. XXIV.

Wärme ausgedehnter und somit leichter, oder durch verminderte dichter und diesemnach schwerer geworden sind.

Werden verschiedene Gasarten, welche sich chemisch verbinden oder zersetzen, zusammengemischt, so äufsern die chemischen Kräfte sogleich ihre Wirkungen, auf ähnliche Weise wie bei festen und tropfbar flüssigen Körpern. Wenn dagegen Luftarten nicht chemisch aufeinander einwirken, so müfsten sie nach der Analogie der tropfbaren Flüssigkeiten in einander aufsteigen, und sich nach dem Verhältnisse ihrer specifischen Gewichte mit horizontaler ebener Fläche übereinander stellen. Das Aufsteigen der leichteren findet auch wirklich statt, allein gleichzeitig werden beide unter einander gemengt, und diese Mengung erfolgt mit solcher Kraft, dafs bei völliger Ruhe binnen wenigen Stunden oder Tagen die in lange Röhren oder zwei durch eine enge Röhre verbundenen Ballons unten eingefüllten schwereren und die oben zugelassenen leichteren Gasarten sich gleichmäfsig durch einander verbreiten. Dabei ist es zugleich höchst merkwürdig, dafs entweder gar keine oder mindestens keine mefsbare Verdichtung eintritt, wie bei tropfbaren Flüssigkeiten unter sich oder mit festen Körpern, aus welcher es erklärlich wird, dafs namentlich bei Mischungen von Wasser und Alkohol und bei den Salzsolutionen das specifische Gewicht der Mischung dem arithmetischen Mittel aus den specif. Gewichten der Bestandtheile nicht gleich ist (§. 43.). Bei den Gasarten ist vielmehr die Elasticität der Summe beider Elasticitäten und die Dichtigkeit dem arithmetischen Mittel aus den Dichtigkeiten der gemengten Bestandtheile gleich. In Beziehung auf die Elasticität ist (§. 52.) gezeigt, dafs diese bei allen Gasarten gleich ist, so lange sie unter dem atmosphärischen Drucke stehen, wonach also die Elasticität ihrer Mengung im unbegrenzten, lufterfüllten Raume die gemeinschaftliche beider Bestandtheile bleibt. Diese oben §. 52. erläuterte unter 336 par. Lin. Quecksilberdruck normale, Elasticität heifst die *absolute*. Wenn man dagegen die Elasticitäten zweier Gasarten unter der Bedingung mit einander vergleicht, dafs ihre Dichtigkeiten die nämlichen sind, so heifsen sie die *relativen* oder *specifischen*, und diese werden gefunden, wenn man ihre absoluten Elasticitäten durch den Factor ihrer Dichtigkeiten dividirt. Würde demnach z. B. die relative Dichtigkeit des Wasserstoffgas gegen die der

atmosphärischen Luft unter 330 par. Lin. Quecksilberdruck gesucht, so wäre diese $= \frac{330}{336} : 0{,}0688 = \frac{0{,}9821\ldots}{0{,}0688} =$ 14,275; oder würden die relativen Elasticitäten beider unter gleichem Barometerdrucke verglichen, so ist die des Wasserstoffgas $= \frac{1}{0{,}0688} = 14{,}53\ldots$ d. h. sie ist dem spec. Gewichte umgekehrt proportional. Werden also Gasarten, welche sich nicht chemisch zersetzen, unter der Bedingung gemengt, dafs sie ihr Volumen so weit verändern können, als dieses der atmosphärische Luftdruck, unter welchem beide vor der Vereinigung standen, erlaubt, so bleibt ihre gemeinschaftliche Elasticität unverändert, und ihre Dichtigkeit ist das arithmetische Mittel aus beiden [1]).

Was hierbei auffallend ist, nämlich dafs beide Gasarten sich nicht nach ihren spesif. Gewichten übereinander lagern, liefse sich aus einer starken gegenseitigen Anziehung derselben erklären [2]), wenn man zugleich die grofse Feinheit und Beweglichkeit ihrer Theile berücksichtigt, indem tropfbare Flüssigkeiten von ungleich geringerem Unterschiede ihrer spec Gewichte, z. B. Wasser und Wein, ohne hinzukommende Bewegung sich nicht vermengen. Wenn aber Dampf und Luft gemengt werden, so besteht zuerst das merkwürdige Gesetz (§. 93.), dafs die Dichtigkeit des in einem gegebenen Raume enthaltenen Dampfes blofs durch die Wärme, aber nicht durch den Druck bedingt wird, indem im luftvollen und im luftverdünnten und im luftleeren Raume gleiche Mengen Dampf bestehen. Steht dann die Mengung aus Luft und Dampf unter dem atmosphärischen Drucke, so werden auch diese beiden elastischen Flüssigkeiten sich nicht nach ihren spec. Gewichten übereinander lagern, sondern gleichmäfsig durcheinander verbreiten. Hiernach wird also der Dampf die Elasticität der Luft um die seinige vermehren, und da dieses bei constantem atmosphärischen Drucke nicht angeht, so wird die Luft so viel von der ihrigen verlieren, bis die vorherige wieder hergestellt ist. Betrüge z. B. die Elasticität der Luft = 28 par. Zolle, und es würde ihr Dampf von 3 par. Z. Elasticität beigemischt, so behielten die verbundenen Flüssigkeiten die

---

1) Ueber dasjenige Gemenge von Gasarten, Wasserdampf u. s. w., welches atmosphärische Luft heifst, s. §. 262.

2) Dafs sie sich dennoch nicht verdichten ist mit einer so starken Anziehung nicht wohl vereinbar.

frühere Elasticität bei, das Volumen aber würde um $^3/_{28}$ vermehrt. Indem aber die Elasticität und Dichtigkeit des Gases um so viel vermindert ist, als der hinzugekommene Antheil des Dampfes beträgt, so sind beide für das in der Mischung enthaltene Gas $= 1 - y$ oder nach der Höhe der Quecksilbersäule bestimmt $= \frac{28-3}{28}$ die des Dampfes aber $= \frac{y}{1}$ oder $= {}^3/_{28}$. Die Elasticität und Dichtigkeit der Verbindung muſs aber der Summe der den einzelnen zugehörigen Gröſsen gleich seyn, also $= 1 - y + y = 1$ oder $= \frac{28-3}{28} + {}^3/_{28} = 1$ betragen. Das Volumen, welches die Luft annimmt, wenn sie mit dem Dampf gemischt wird, muſs dann der erzeugten Elasticität umgekehrt proportional seyn. Heiſst also das Volumen der Luft vor der Mengung $= V$ nach der Mengung $= V'$; die Elasticität der Luft $= p$ des Dampfes $= p'$, so ist $V' = \frac{Vp}{p-p'}$. Bei der atmospärischen Luft ist p' gegen p allezeit geringer, allein wenn die Elasticität des Dampfes bis zur Siedehitze wächst, d. h. $p' = p$ wird, so verschwindet die Luft ganz, der Dampf vertreibt sie, und breitet sich in jeden, auch einen unendlichen Raum aus. Auf diesem Verhalten des Dampfes zur Luft beruhet der in §. 53 angegebene Factor k.

Das Auffallende dieses Verhaltens liegt zum Theil hauptsächlich in der respectiven oder specifischen Elasticität der Gasarten im Verhältniſs zu ihrer absoluten, nämlich daſs sie insgesammt bis zu einer gewissen, meistens nicht sehr engen, Grenze dem Mariotteschen Gesetze folgen, und daſs dennoch einige derselben unter gleichem Drucke weniger dicht sind, als andere, und diese geringere Dichtigkeit selbst in ihren Mengungen mit andern beibehalten. Läſst sich hierfür etwas ziemlich Aehnliches in dem Verhalten der ungleich dichten tropfbaren Flüssigkeiten finden, so ist es noch ungleich auffallender, daſs gleiche Mengen namentlich des Wasserdampfes im lufterfüllten und im luftleeren Raume existiren. Dalton [1]) faſste zuerst diesen Gegenstand nach seiner Wesenheit scharfsinnig auf, zeigte, daſs die, lange Zeit vertheidigte, Hypothese von der Auflösung des Wasserdampfes in atmosphärischer Luft ganz un-

---

[1]) Manch. Mem. V. 543.

haltbar sey, und suchte statt dessen das nach ihm benannte *Daltonsche Gesetz* zu begründen. Hiernach sollen die Gasarten in der Art neben einander bestehen, daſs ihre Bestandtheile zwar Abstoſsung unter einander und gegen feste Körper ausüben, gegen andere Gase aber nur in so weit, als sie ihnen den erforderlichen Raum zu deren Ausbreitung abgeben, ohne zusammendrückend auf sie zu wirken. Am auffallendsten zeigt sich dieses beim Wasserdampfe. Wird nämlich dieser bei 12° R. oder 15° C., also von einer Elasticität = 0,4069 und einer Dichtigkeit = 0,009036 mit Luft, deren Elasticität = 28 und Dichtigkeit = 1 ist, vereinigt, so sollte man glauben, daſs seine Dichtigkeit durch den stärkeren Druck der Luft vermehrt werden müſste; was aber der Fall nicht ist, und dieser Druck der atmosphärischen Luft ist also nach Dalton gegen den Dampf als nicht existirend zu betrachten, indem beide elastische Flüssigkeiten zwar unter sich selbst, aber nicht wechselseitig abstoſsend wirken, und somit namentlich die Atmosphäre der Erde aus den nebeneinander einzeln bestehenden Atmosphären der vermengten Gasarten und des Dampfes zu betrachten wäre. Hiergegen streitet indeſs hauptsächlich, daſs die Atmosphären der schwereren Gasarten in zunehmenden Höhen früher dünner werden müſsten, und das Mischungsverhältniſs der atmosphärischen Luft nicht in allen Höhen desselbe seyn könnte, wie es die Erfahrung zeigt. Am leichtesten erklärlich scheint mir die Sache, wenn wir mit La Place [1]) annehmen, daſs die Wärme eine der Temperatur proportionale Repulsion gegen die Elementarbestandtheile der Dämpfe ausübt, vermöge welcher sie also einander auch in ihrer Mengung mit Luft nicht näher kommen können. Insofern aber diese Abstoſsung durch das individuelle Verhältniſs der Wärme zu den gegebenen Elementen und deren Attraction unter einander und gegen die Wärme bedingt wird, so kann sie gegen die Elemente anderer Gasarten nicht anders als in demjenigen Verhältniſs wirken, welches hierüber als ein anderes durch die Erfahrung gegeben ist, wenn man beide mit einander vergleicht. Wenn also z. B zu einem Volumen Gas = 1 von der Elasticität = 28 Z. ein Volumen Dampf = 1 von einer Elasticität = 7 Z. kommt, so wird das Volumen der Mengung nicht = 2 werden, wie der Fall seyn müſste, wenn die Wärme gegen die Elemente des Gases auf gleiche Weise als gegen

[illegible] Phys. XXI. p. 22. Méc. cél. T. V. i. A.

die des Dampfes wirkte, sondern das neue Volumen wird $= \frac{p}{p - p'} = \frac{28}{28 - 7} = \frac{4}{3}$. Der Dampf übt nämlich allezeit nur $\frac{7}{28}$stel Druck gegen die Luft aus, d h. er drückt gegen die Luft im Verhältnifs seiner Elasticität zu der der Luft, oder die Repulsion seines Wärmestoffes gegen die Elemente der Gasarten bleibt dem Verhältnisse der absoluten Pressungen beider proportional, obgleich sie gegen die Elemente des Dampfes aus dem angegebenen Grunde eine andere ist, weil die Anziehungen der lezteren leichter überwunden werden [1]).

Leichtere und schwerere Gasarten werden also allerdings in andern aufsteigen und niedersinken, wie man dieses bei dem aus einem Glase aufsteigenden, und über demselben entzündbaren Wasserstoffgase, desgleichen bei den in Kellern und Cisternen sich gleichbleibend erhaltenden kohlensauren Gase sieht, jedoch nur in soweit, als dieses nicht durch das Bestreben nach Mengung bedingt wird. Wo lezteres wegfällt, also wenn Luftsäulen durch Wärme ausgedehnt werden, steigen diese in die Höhe, und kältere sinken herab, beides nach den erläuterten Gesetzen des Falles. Die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers $c = 2\sqrt{gs}$ (§. 28), und da hier von einer herabfallenden Luftmasse die Rede ist, so giebt deren Höhe $= h$ den Fallraum, und es wird also $c = 2\sqrt{gh}$ (§. 47). Allein die Luft kann nicht mit ihrem ganzen, sondern nur mit ihrem relativen Gewichte herabsinken, wie dieses bei jedem in einer Flüssigkeit zum Theil getragenen Körper der Fall ist (§. 38

[1]) Es könnte hierbei auffallend scheinen, warum das Volumen der Luft um $\frac{1}{3}$ und nicht um $\frac{1}{4}$ vermehrt werde, da doch das Verhältnifs der Elasticität $= 7 : 28 = 1 : 4$ ist, mithin die Elasticität doch nur um $\frac{1}{4}$ vermehrt wird, und nach Herstellung der ursprünglichen durch Erweiterung in einen gröfseren Raum lezterer den Elasticitäten umgekehrt proportional ist. Um dieses einzusehen, mufs man berücksichtigen, dafs zwar das Volumen des Dampfes $= 1$, wie das der Luft, angenommen ist. Wird dieses dann durch den hinzukommenden Dampf um $\frac{1}{4}$ vermehrt, und soll der Dampf seine Elasticität und Dichtigkeit behalten, so müfste in den erweiterten Raum abermals die proportionale Quantität Dampf zutreten, also $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = (\frac{1}{4})^2$, und indem hierdurch abermals eine Erweiterung des Raumes und verhältnifsmäfsige Vermehrung des Dampfes erfordert wird, so giebt dieses eine unendliche Reihe, deren Summe $= \frac{4}{3}$ ist. Der rühmlichst bekannte Tredgold, welcher diesen Umstand übersah, wurde deswegen zu einem Angriffe gegen Dalton und Gay-Lüssac (als Vertheidiger der aufgestellten Theorie vermogt. S. Philos. Mag. LXVII. p. 321.

u. 42), also nur mit demjenigen Theile, um welchen sie schwerer ist, als die umgebende. Ist daher ihre eigene Wärme $= t$, die der umgebenden Luft $= t'$, so wird sie mit einer Geschwindigkeit herabfallen, welche der durch den Unterschied dieser Temperaturen bewirkten Dichtigkeitsveränderung proportional ist. Wird die Temperatur nach der hunderttheil. Skale gemessen, so beträgt die Volumensänderung für jeden Grad 0,00375, und die Fallgeschwindigkeit $c = 0{,}00375\ (t - t')\ 2\sqrt{gh}$. Nach dieser Formel wird $c = 0$, wenn $t = t'$ ist, d. h. ohne Aenderung des Gewichts ruhet jede Luftsäule. In allen andern Fällen ist entweder t gröfser oder kleiner als t', und mufs also in jenem Falle die schwerere Luft herabsinken, im lezteren aber, da c einen gleichen, aber negativen Werth erhält, mit gleicher Geschwindigkeit aufsteigen. Die hiernach bewegte Luft mufs aber den Widerstand der umgebenden Luftsäulen überwinden, welches ihre Geschwindigkeit merklich vermindert. Nach den Resultaten der Versuche, welche G. G. Schmidt [1]) mit einem erhitzten Canale im Zimmer anstellte, ist der hiernach erforderliche Factor, welcher in die Formel eingeführt werden mufs $= 0{,}43$; indefs glaube ich, dafs man denselben unbedenklich auf 0,5 erhöhen könne, wenn man berücksichtigt, dafs jene Versuche in einem Zimmer angestellt wurden, wo die Nähe von Decke und Fufsboden die freie Beweglichkeit der Luft hinderte, und dafs die Hälfte des ganzen Effectes um so mehr zu erwarten ist, da die sich hebende oder herabsinkende Luftsäule eine andere, in ihre Stelle tretende, zu gleicher Geschwindigkeit antreiben, sonach also auf die Hälfte ihrer Bewegungsgeschwindigkeit herabsinken mufs. Hiernach wäre also die Formel für die Geschwindigkeit $c = 0{,}5 \times 0{,}00375\ (t - t')\ 2\sqrt{gh}$; oder wenn man $g = 15$ par. F. setzt, $c = 0{,}01452375\ (t - t')\sqrt{h}$, wonach also die Geschwindigkeiten den Temperaturunterschieden und den Quadratwurzeln aus den Höhen proportional sind.

Das hier aufgestellte Gesetz leidet die vielfachste Anwendung. Aus demselben erklärt sich zuerst das Ziehen der Camine und Schornsteine. Diese bestehen allezeit aus einem mehr oder minder genau lothrechten Canale, in welchem die Luft erhitzt wird, und daher zugleich mit dem Rauche aufsteigen mufs. Ist die Höhe desselben 36 Fufs und die mittlere Temperaturdifferenz 10° C., so würde die Luft,

[1]) Hand- und Lehrbuch d. Naturl. p. 216.

in demselben eine Geschwindigkeit = 0,01452375 × 10 × 6 F. = 0,871425 F. in einer Secunde erhalten. Nehmen wir diese Gröfse als eine mittlere an, so folgt hieraus und aus der Natur der Sache, dafs ein Schornstein so viel stärker ziehen wird, je länger er ist, und dafs sein Zug, wie der in Windöfen, erst bedeutend stark wird, wenn das Feuer wirklich in Brand gesetzt ist, und die Luftsäule zu erwärmen angefangen hat. Eben daher ziehen Windöfen desto stärker, je anhaltender und stärker das Feuer in ihnen gebrannt hat, Schmelzöfen aber, mit einem aufgesetzten Schornsteine und einem aus der Tiefe heraufgeführten Zug-Canale erhalten das Feuer mit unglaublicher Heftigkeit. Man darf ferner schliefsen, dafs die geraden Schornsteine am besten ziehen, und wenn einige den Zug durch eine im oberen Theile befindliche Erweiterung zu befördern glaubten, weil der Ausflufs des Wassers aus erweiterten Röhren stärker ist (§. 47), so ist wohl zu berücksichtigen, dafs das Abfliefsen des Wassers (wie der Luft in ähnlichen Fällen s. §. 56) durch anderweitige Ursachen schon erzeugt ist, das Ziehen der Schornsteine aber erst hervorgebracht werden soll. Die im Beispiele erhaltene Geschwindigkeit ist ferner von der Art, dafs sie unter günstigeren Bedingungen leicht gröfser seyn kann, allein sie zeigt zugleich, dafs es nur eines unbedeutend starken, die obere Mündung des Schornsteins treffenden herabgehenden Luftstromes, oder einer an seinem unteren Eingange (dem Schornsteinbusen) stattfindenden Strömung bedarf, um diese Bewegung aufzuheben oder negativ zu machen, indem jene gar leicht die Luftsäule im Schornsteine mit gröfserer Geschwindigkeit, als die aus den Bedingungen gefundene, herabdrückt, diese aber sie nach sich zieht, in welchem Falle jener rauchen mufs. Wären sogar die Gröfsen von der Art, dafs die Geschwindigkeit des Zuges dadurch verdoppelt, also bis zu 1,7 F. in 1 Sec. wachsend würde, so könnte dennoch eine solche Strömung kaum wahrgenommen werden, woraus erklärlich wird, dafs die Ursachen des Rauchens der Schornsteine so schwer aufzufinden und meistens noch schwerer zu beseitigen sind. Wenn namentlich nach einer bekannten Erfahrung die Sonne gegen die oberen Theile der Schornsteine bei sehr ruhiger Luft stark scheint, so kann die umgebende Luftmasse wärmer werden als die im Schornsteine befindliche, weswegen leztere herabsinkt. Entzündet sich dagegen der Rufs in den Schornsteinen, so verwandelt sich der Luftzug in ein eigentliches Brausen, wie dann aus gleichen

Gründen jedes heftige Brennen einen Luftzug erzeugen mufs.

Aehnliche Erscheinungen des Aufsteigens und Herabsinkens der Luft zeigen sich beim Einströmen der kalten Luft in die Oeffnungen der Keller auf eine solche Weise, dafs häufig die unmittelbar unter einer solchen Oeffnung befindlichen Gegenstände zuerst gefrieren. Dahin gehört ferner, dafs die Flamme eines Lichtes in einem geheizten Zimmer bei einer wenig geöffneten Thüre oder einem Fenster oben hinauswärts, unten hereinwärts geblasen wird, weil daselbst doppelte Strömungen, der kälteren herzufliefsenden Luft unten, der wärmeren abfliefsenden oben, existiren. Bei der langsamen Fortpflanzung der nicht strahlenden Wärme (§. 89) durch die Luft würde es kaum möglich seyn, gröfsere Zimmer zu erwärmen, wenn nicht die an den Oefen erhitzte Luft aufstiege, und der kälteren, unten herzuströmenden Platz machte, so dafs durch diesen ziemlich schnellen und anhaltenden Wechsel in kurzer Zeit die sämmtliche Luft mit der heifsen Oberfläche in Berührung gebracht und erwärmt wird Man bemerkt diese Strömung an leichten durch eine geringe Kraft beweglichen Körpern, z. B. spiralförmig geschnittenen und auf einer Spitze balancirten Scheiben aus Kartenpapier, welche man in diese Strömung bringt.

Um diese wechselnde Strömung der Luft bei der Zimmerheitzung zu verstärken und grofse Zimmer schneller zu erwärmen, umgiebt man zuweilen die Oefen mit einem blechenen, unten mit Oeffnungen versehenen Mantel, damit durch leztere die kalte Luft eindringe, und nach dem angegebenen statischen Gesetze aufsteige. Von sehr grofsem Erfolge kann dieses aber nicht seyn, und aufserdem verliert man die strahlende Wärme, so dafs es bei den obwaltenden verschiedenen Bedingungen schwer ist, über den Nutzen einer solchen Einrichtung zu entscheiden. Bei der Luftheitzung, deren Gesetze keineswegs schwierig sind, schliefst man den Ofen in eine eigene Heitzkammer ein, und führt von hieraus einen Canal in die zu erwärmenden Zimmer, damit hierdurch die warme Luft in dieselben ströme. Nach einer doppelten Methode strömt dann entweder die Luft aus den Zimmern wieder in die Heitzkammer (Circulation), oder in leztere führt ein Canal von aufsen stets frische Luft zu, und die kalte oder am wenigsten erwärmte Luft aus den Zimmern entweicht durch einen dicht über dem Fufsboden sich öffnenden zweiten Canal auf Gänge, in Kammern oder

ins Freie (Luftwechsel). Bei dieser ganzen, neuerdings so vielfach besprochenen, eigentlich sehr einfachen Vorrichtung kommen folgende Regeln hauptsächlich in Betrachtung:

1) Die Oefen in den Heitzkammern können im Allgemeinen nicht mehr leisten, als in den Zimmern, jedoch gewinnt man an Raum und erhält angenehmere Wärme durch die vermiedene Strahlung. Die Gröſse der Oefen muſs daher den zu heitzenden Räumen proportional seyn, und da einige Wärme in den Canälen und durch die beim Luftwechsel entweichende, etwas erwärmte, Luft verloren wird, so kann die Luftheizung nicht holzersparender als die Stubenheitzung seyn, wenn dieser Abgang nicht durch anderweitige Bedingungen zum Theil oder ganz oder mehr als ganz compensirt wird. Uebrigens bedürfen die Oefen durchaus keines künstlichen Baues, wenn sie nur gegen das Rauchen gesichert sind und nach ihrer Construction möglichst viele Wärme geben.

2) Die Strömung der erhitzten Luft in die Zimmer wird so viel schneller seyn, je höher der Canal ist, denn die Formel giebt die Geschwindigkeit derselben der Quadratwurzel aus der Höhe proportional. Man legt daher die Heitzkammer möglichst tief, und kann mit engeren Canälen ausreichen, wenn die Luft in höhere Stockwerke geleitet wird. Strömt dieselbe indeſs minder schnell, so bleibt sie längere Zeit mit der Ofenfläche in Berührung, wird dadurch heiſser, und muſs der erhöheten Ausdehnung proportional mit vermehrter Geschwindigkeit aufsteigen.

3) Es ist nicht wohl zu fürchten, daſs ein Heitzcanal die warme Luft nicht in die zu erwärmenden Zimmer führen sollte, und darf man dieses der Natur der Sache nach weit weniger erwarten, als das Nichtziehen eines Schornsteines; allein im Allgemeinen ist die Geschwindigkeit der Strömung auch unter günstigen Bedingungen nicht so schnell, daſs sie nicht durch eine leicht denkbare entgegengesetzte könnte aufgehoben werden. Es habe z. B. ein aus einem Souterrain in den dritten Stock gehender Canal die ungewöhnliche Höhe von 60 par. F. von der Einfluſs-Oeffnung der kalten Luft bis zu seiner Mündung im Zimmer, und der Temperaturunterschied betrage gleichfalls hoch angeschlagen 75° Cent., so beträgt doch die Geschwindigkeit des Ausflusses nur $0{,}01452375 \times 75 \times \sqrt{60} = 8{,}43\ldots$ Fuſs in einer Secunde, und da ein nicht starker Wind leicht 10 bis 12 Fuſs Geschwindigkeit erreicht, so könnte dieser den genannten Luftstrom zurückdrängen, wenn er ihn träfe. Hieraus

folgt, daſs die warme Luft nicht mit Sicherheit eines günstigen Erfolges in mehrere in horizontaler Ebene liegende Zimmer geleitet werden könne, um so mehr, als die Geschwindigkeit der Strömung durch die Adhäsion an den Röhrenwandungen, den Stoſs gegen die Krümmungen der Canäle und den Widerstand der in ihnen zu bewegenden Luftsäule bedeutend vermindert wird. Aus gleichen Gründen dürfen die Mündungen des nämlichen Canals nicht in Zimmer verschiedener Stockwerke geleitet werden, weil in beiden Fällen leicht einige der zu erwärmenden Zimmer ganz kalt bleiben.

4) Die für gegebene Fälle erforderliche Weite der Canäle, sowohl der zur Zuleitung als auch der zur Ableitung bestimmten, läſst sich hiernach aus der Menge der erforderlichen Luft leicht bestimmen, wenn die Höhe derselben und die Heitzkraft der Oefen gegeben sind. In dem gewählten Beispiele würde ein Canal von 1 par. Quad. Fuſs Querschnitt in einer Stunde 30384 Cub. F. bis 75° C. erwärmte Luft geben, allein auf eine so schnelle Strömung ist selten zu rechnen, weil die angenommene Höhe und Temperaturdifferenz in der Wirklichkeit nicht leicht so groſs gefunden werden. Die Hauptsache bleibt immer, daſs auf allen Fall für hinlängliche Heitzkraft des Ofens und sichere Strömung der warmen Luft gesorgt werde [1]).

5) Es liegt am Tage, daſs die Luftheitzung, und zwar namentlich mit Luftwechsel, für Trockenstuben die überwiegend vortheilhafteste ist. Auſserdem eignet sich dieselbe vorzüglich für groſse Säle, Opernhäuser und Kirchen, weil hierin die übermäſsig groſsen Oefen entstellen, und die Luftheitzung eine gleichmäſsigere Verbreitung der Wärme erzeugt. Die zu erreichenden Zwecke und damit verbundenen Bedingungen geben dann zugleich an, ob die Circulation oder der Luftwechsel am geeignetsten sey, desgleichen

---

[1]) Die Untersuchung der Leistungen eines gegebenen Brennmaterials und der Oefen, desgleichen der jederzeit sich verlierenden und daher wieder zu producirenden Wärmemenge u. s. w. würde hier zu weit führen, und ich verweise deswegen auſser dem, was §. 86. u. 89 hierüber noch gesagt werden wird, auf die über diesen Gegenstand klassische Schrift: Wagenmann über die Heitzüng mit erwärmter Luft. Berlin 1827. 4. Vergl. Gehler's Wörterb. Th. V. p. 141 ff. Sofern man die Oefen für die Zimmer nur nach der Erfahrung ohne genaue Bestimmung ihrer Gröſse wählt, so kann dieses auch bei der Luftheitzung geschehen, wo man sie noch stärker erhitzen kann, als im Zimmer, von ihnen aber keine unmögliche Leistungen erwarten darf.

ob man die Canäle im Fufsboden oder über demselben, überhaupt in welcher Höhe münden lasse, indem dieses übrigens wegen der grofsen Bewegung, worin die Luft gesetzt wird, ziemlich gleichgültig ist.

Will man die Strömungen in Canälen, welche zu Kloaken führen, vermeiden, und die Verbreitung übeler Gerüche in den Häusern verhüten, so darf man dieselben nur völlig verschliefsen. In der Regel ist nämlich die darin enthaltene Luft theils ihrer Natur nach, theils wegen ihrer gröfseren Kälte als Folge der abgehaltenen Licht- und Sonnenstrahlen spec. schwerer als die atmosphärische, und wird daher niedersinken; wäre sie aber auch leichter, so kann sie nicht aufsteigen, wenn nicht eine schwerere von unten einströmt. Sind dagegen solche Canäle an zwei Seiten offen, so wird selbst die in ihnen enthaltene schwerere Luft durch die auf sie unter geeigneten Bedingungen wirkenden Strömungen der äufseren Luft aufwärts getrieben, und die so oft zur Wegschaffung der übelriechenden Luft angebrachten Zuglöcher haben meistens den entgegengesetzten Effect.

Endlich lassen sich die Strömungen in der atmosphärischen Luft von den sanftesten Winden bei grofser Hitze an schattigen Orten bis zu den heftigsten Orkanen auf das angegebene statische Gesetz zurückführen, und durch Anwendung der Formel erklären (s. §. 265).

§. 56.

Die Luft mufs, als flüssiger Körper in luftverdünnte und luftleere Räume mit einer ihrer Elasticität proportionalen Geschwindigkeit eindringen, überhaupt sich in verschiedenen Räumen bei ungehindertem Zugange ins Gleichgewicht setzen, und bei diesen Bewegungen ähnliche Gesetze befolgen, als die für tropfbare Flüssigkeiten bereits nachgewiesenen.

Es ist so eben gezeigt, dafs eine Luftsäule als eine Flüssigkeitssäule zu betrachten sey, welche eine ihrer Höhe proportionale Geschwindigkeit erhält, sobald sich das relative Gewicht derselben gegen dasjenige verändert, welches der Umgebung eigenthümlich ist. Eben dieses Gesetz mufs in Anwendung kommen, wenn Luft in einem Gefäfse verdichtet ist und aus demselben in die minder dichte durch eine Oeffnung ausströmt, oder wenn von aufsen dichtere in den leeren Raum oder in dünnere Luft einströmt; in bei

den Fällen nämlich kann die mehr comprimirte Luft so angesehen werden, als ob sie durch eine der Dichtigkeit proportionale Luftsäule gedrückt würde, eben wie der verstärkte Druck dem Wasser eine vergröſserte Sprunghöhe giebt, welche der Höhe einer den nämlichen Druck ausübenden Wassersäule proportional ist. Dabei ist dann ferner leicht zu erachten, daſs durch eine gegebene Oeffnung ein so viel gröſseres Volumen flieſsen wird, je gröſser der Abstand der constituirenden Bestandtheile, also je geringer die Dichtigkeit oder die bewegte Masse ist, wonach also die Geschwindigkeit der Bewegung den Quadratwurzeln aus den Druckhöhen directe und aus den Dichtigkeiten umgekehrt proportional seyn muſs. Wird demnach die Dichtigkeit der Luft bei einem Drucke von 338,82 Lin. Quecksilber oder 32 F. Wasser als Einheit angenommen, und $= 0{,}0013 = \delta$ gesetzt [1]), die Vermehrung des Druckes nach par. Fuſsen der drückenden (Wassersäule [2]) $= h$ und der Fallraum in 1 Secunde $= g$ genannt, so ist die Geschwindigkeit des Flieſsens $= v$ in einer Secunde $v = 2\sqrt{\frac{g\,h}{\delta}}$. Weil aber δ durch den Druck wächst, und zwar im Verhältniſs von $\frac{32+h}{32} = \alpha$ nach der Wasserhöhe in par. F. ausgedrückt, dagegen aber bei erhöheter Temperatur δ in $\delta\ \frac{1}{1+0{,}00375\,t} = \delta'$ verwandelt wird, t in Graden der hunderttheiligen Skale genommen, so heiſst die auf die hauptsächlichsten Bedingungen in möglichst genäherten Werthen Rücksicht nehmende Formel $v = \sqrt{\frac{g\,h}{\alpha\,\delta'}}$. Ist hierdurch die Geschwindigkeit der Strömung gegeben,

1) Das spec. Gewicht der Luft unter 336,9 par. Lin. Quecksilberdruck gegen Wasser im Puncte der gröſsten Dichtigkeit ist $= 0{,}001299$.... §. 43, allein der Bequemlichkeit wegen nimmt man in runder Zahl 32 F. Wasser, und dann ist das spec. Gewicht der Luft $= 0{,}0013$.... In der Regel ist zwar bei den Versuchen das Wasser wärmer und daher leichter, die Luft aber auch, und also mehr ausgedehnt; da aber hierbei die Genauigkeit doch einmal so groſs nicht seyn kann, so darf man immerhin die angenommene Bestimmung beibehalten, oder statt deren 0,00125 setzen, ohne bedeutendere Unterschiede der Resultate, als ohnehin innerhalb der Fehlergrenze liegen.

2) Da die Vermehrung des Druckes in der Anwendung fast ausschlieſslich durch Wasser erzeugt wird, so ist es besser dieses hierbei als Norm anzunehmen.

so darf man damit nur den Querschnitt der Oeffnung in Quadratmafse nach par. Fuls multipliciren, um die Menge des ausströmenden Gases zu finden.

Beispielsweise kann man zuvörderst fragen, wie schnell die Luft unter gewöhnlichem atmosphärischen Drucke in einen bleibend leeren Raum einströmen würde. Hierbei ist ohne weitere Bedingungen $v = 2\sqrt{\frac{15+32}{0{,}001299}} = 1216$ par. Fufs in 1 Sexages. Secunde. Betrüge dagegen der Luftdruck nur 336 par. Lin., die Temperatur aber 20° C., so wäre $v = 2\sqrt{\frac{15+31{,}73}{0{,}0012085}} = 1255$ par. Fufs [1]).

Das aufgestellte Gesetz kommt in der Wirklichkeit in zahllosen Fällen in Anwendung, namentlich bei der Berechnung der Luftmenge, welche in einer gegebenen Zeit aus einem Rohre von gegebener Weite bei einem Gebläse ausströmt; jedoch erfordert die Formel noch eine Correction, wenn sie mit gehöriger Sicherheit angewandt werden soll. Auch bei der Luft nämlich, wie beim Wasser, findet eine Zusammenziehung des ausfliefsenden Stromes statt, und die Luft, in welche die verdichtete strömt, mufs in Bewegung gesetzt werden, weswegen in der Wirklichkeit die Menge der ausströmenden Luft geringer gefunden wird, als die Berechnung sie giebt. Es sind daher eine Menge Untersuchungen angestellt, um die Gröfse der Verminderung des theoretisch gefundenen Resultates nebst den Ursachen derselben durch Versuche aufzufinden, und den beständigen Factor zu bestimmen, welcher hiernach in die Formel eingeführt werden mufs. Dahin gehören unter andern namentlich die Versuche von Lagerhielm [2]), wonach die Gesetze die nämlichen sind als bei tropfbaren Flüssigkeiten, von Faraday mit verschiedenen Gasarten [3]), von Girard [4]) mit Rücksicht auf den Einflufs der ungleichen Temperatur, von Parrot [5]) zunächst zur Auffindung der Adhäsion der Gase an den Wänden der Röhren,

---

[1]) Hierauf bezieht sich die Angabe §. 31., dafs hinter einer Kugel, deren Geschwindigkeit 1300 F. in 1 Sec. übersteigt, ein leerer Raum seyn mufs. Vergl. Young in Gilb. Ann. XXII. 385.

[2]) Ann. de Chim. XXI. 304.

[3]) Journ. de Phys. LXXXV. 58. Ann. de Chim. et de Phys. X. 388. Schweigg. Journ. XXII. 385

[4]) Ann. de Chim. et de Phys. XVI. 129.

[5]) Gilb. Ann. XXVII. 192; Allgem. Nord. Ann. V. 198.

von Koch [1]) zur Begründung einer richtigen Theorie der Gebläse, von G. G. Schmidt [2]) u. a. Nach dem Lezteren ist der in die Formel einzuführende Coefficient bei einer Oeffnung in einer dünnen Platte = 0,52, für Röhren aber, deren Länge den Durchmesser nicht mehr als 30mal übertrifft, wenn diese cylindrisch sind = 0,66, bei conischen, die engere Mündung nach Aufsen = 0,69 und die weite Oeffnung nach Aufsen = 0,86.

Die nächste Anwendung dieser Untersuchungen kommt bei den Gebläsen in Anwendung, deren es verschiedene, hier nicht näher zu untersuchende Arten giebt. Wenn man berücksichtigt, dafs bei den meisten derselben konische Röhren, die engste Oeffnung nach Aufsen gekehrt, angebracht sind oder aus anderweitigen Gründen angebracht werden, so läfst sich jener Coefficient füglich auf 0,7 setzen, und die Formel heifst dann $v = 0{,}7 \times 2\sqrt{\frac{gh}{\alpha\delta'}}$, oder wenn man alle bekannte Gröfsen vereinigt, $v = 5{,}42\sqrt{\frac{h}{\alpha\delta'}}$. Vernachlässigt man die gröfsere Dichtigkeit, welche die Luft durch die zusammendrückende Wassersäule erhält, oder α, und setzt ihre Dichtigkeit bei 10° C. = 0,0012084, so wird $v = 156\sqrt{h}$; man kann aber in genäherten Werthen für einen Wasserdruck von 2 bis 9 F. Höhe und bei der mittleren Temperatur von 20° C. $v = 145\sqrt{h}$ setzen, wenn es um eine Bestimmung ohne scharfe Berechnung zu thun ist. Wird die gefundene Geschwindigkeit mit dem quadratischen Inhalte der Röhrenöffnung multiplicirt, so giebt dieses den Cubikinhalt der in 1 Sec. ausströmenden Luft; zur Auffindung genauerer Werthe bei atmosphärischer Luft, und überhaupt für anderweitige Gasarten von bedeutend abweichender Dichtigkeit ist indefs eine schärfere Berechnung nach der Formel erforderlich [3]). Dabei wird vorausgesetzt, dafs die Fortleitungsröhren nicht übertrie-

[1]) Versuche und Beobachtungen über die Geschwindigkeit und Quantität verdichteter atmosph. Luft, welche aus Oeffnungen von verschiedener Construction u. durch Röhren ausströmt. Gött. 1824. 8.

[2]) Gilb. Ann. LXVI. 39. Vergl. Eytelwein Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydrostatik p. 110.

[3]) Auf die Untersuchung der aus einem Gefäfse ausströmenden Gasmenge, wenn der Druck des Wassers oder überhaupt die Zusammendrückung stets abnimmt, hier einzugehen scheint mir nicht zweckmäfsig. Vergl. G. G. Schmidt a. a. O.

ben lang oder in diesem Falle unverhältnifsmäfsig weit zur Mündung, auf allen Fall aber nicht in zu kleinen Winkeln gebogen oder auch nur merklich gekrümmt sind. Man bringt dann eine heberförmig gebogene, mit Wasser gefüllte Röhre mit der comprimirten Luft so in Verbindung, dafs leztere auf das Wasser im einen Schenkel drückt, und es im andern so viel steigen macht, als dem Ueberschusse ihrer Elasticität über die der atmosphärischen proportional ist. Die Oeffnung desjenigen Schenkels, auf welchen die comprimirte Luft drücken soll, mufs dem Strome derselben entgegengerichtet seyn, weil sonst, wie beim Wasser, ein schnell bewegter Strom derselben die Luft eher nach sich ziehen, als die durch vermehrten Druck erzeugte Geschwindigkeit anzeigen kann. Auf ganz gleiche Weise wird die Menge des Leuchtgases gefunden, welche bei Gasbeleuchtungs-Anstalten in einer gegebenen Zeit aus Röhrenmündungen von gemessener Weite ausströmt, oder in Röhren von bestimmten Durchmessern fortfliefst.

Unter die gemeinsten Luftströmungen gehört das Athmen der warmblütigen Thiere. Durch einen Reitz der Nerven, namentlich des nervus vagus auf die Muskeln der Rippen und des Zwergfelles, welchem der Mensch durch blofse Willensthätigkeit nicht widerstehen kann, werden die Rippen an der Seite in die Höhe gezogen, und da sie schräg von hinten nach der Seite zu herablaufen, so wird hierdurch die Brusthöhle erweitert; das Zwergfell schliefst die Brusthöhle unten, und wird durch die Bauchmuskeln im Zustande seiner Erschlaffung in die Höhe gedrückt, bei seiner Anspannung aber bildet es eine geradere Fläche, drückt den Inhalt des Unterleibes mehr herab, und vermehrt gleichfalls die Erweiterung der Brusthöhle. Beide Veränderungen dehnen die in den Lungen enthaltene Luft aus, und bewirken das Einströmen der äufseren durch die Respirationswerkzeuge, so lange diese offen sind (Einathmung, inspiratio), wogegen man bei Verschliefsung derselben die vergebliche Anstrengung jener Muskeln wahrnimmt, den diese Erweiterung hindernden äufseren Luftdruck zu überwinden. Lassen die Muskeln nach, fallen mithin die Rippen und das Zwergfell in ihre Lage zurück, so tritt Verengerung der Brusthöhle ein, und der gröfste Theil der in ihr enthaltenen Luft entweicht wieder durch die Respirationsorgane, (Ausathmung, exspiratio) Man sieht hieraus, dafs die in den physikalischen Cabinetten meistens vorhandenen sogenannten Lungengläser, welche diesen Procefs der Luftströmung

zu erläutern dienen sollen, eine ganz falsche Vorstellung von demselben erzeugen.

§. 57.

Die Wirkung der bewegten Luft gegen feste und flüssige bewegliche Körper wird mit vielem Grunde dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional gesetzt. Ist aber die Luft oder ein sonstiges expansibeles Fluidum in einem Gefäfse comprimirt, so wird seine Kraft der Stärke des Druckes direct proportional seyn. Anwendungen dieser Sätze geben der Wind, die Windkessel, Windbüchsen, Dampfmaschinen und Schiefsgewehre.

Die Luft mufs bei ihrer Bewegung auf die durch sie getroffenen Körper stofsen, und zwar, nach den bekannten mechanischen Gesetzen, mit einer Kraft, welche ihrer Masse und dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit proportional ist. Zur Bestimmung der Kraft, welche die bewegte Luft gegen feste und tropfbar flüssige Körper ausübt, kann die im vorhergehenden §. gegebene Formel dienen, nämlich $v = 2\sqrt{\frac{gh}{\delta}}$, insofern sich hieraus die Geschwindigkeit finden läfst, womit die Luft unter einem gegeben Wasserdrucke sich zu bewegen angetrieben wird, mithin auch umgekehrt die Höhe, bis zu welcher sie das Wasser bei gegebener Geschwindigkeit hinauftreiben würde, und aus dem Gewichte des lezteren die ausgeübte Gewalt in Pfunden. Weil hierbei übrigens in der Regel nur atmosphärische Luft in Betrachtung kommt, und aus andern, nachher zu erwähnenden Gründen eine ganz scharfe Berechnung nicht leicht zu erhalten ist, so kann der Werth von δ unbedenklich $= 0{,}001299$ angenommen werden. Wird dann für $h = 1$ par. Fufs $= 144$ Lin. Wasserhöhe gesetzt, und hierfür der Werth von v gesucht, so ist $v = 2\sqrt{\frac{g}{0{,}001299}}$ $= 214{,}9$ oder sehr nahe $= 215$. Die Geschwindigkeit des Windes $= 215$ F. in 1 Sec. würde also gegen einen Quadratfufs Fläche mit einer Kraft von 73 ℔ Cöln. drücken. Weil sich aber die Geschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen verhalten, so läfst sich die Geschwindigkeit aus der gegebenen Druckhöhe und umgekehrt

finden, nämlich $v : v' = \sqrt{h} : \sqrt{h'}$, woraus $v' = v\sqrt{\frac{h'}{h}}$ und $h' = h\,\frac{v'^2}{v^2}$ folgt. Es ist indefs mehr als wahrscheinlich, dafs die Kraft der bewegten Luft stärker wirkt, als die Formel angiebt, weil die Luft vor den Widerstand leistenden Körpern verdichtet wird, und dadurch an Elasticität zunimmt, welches aber schwierig zu berechnen ist.

Eine unmittelbare Anwendung der Formel läfst sich auf das von Lind vorgeschlagene Anemometer machen [1]). Dieses besteht aus einer heberförmigen an beiden Enden offenen Glasröhre, woran der eine Schenkel wieder horizontal gebogen ist und durch eine gemeine Windfahne der Richtung des Windes entgegen gekehrt wird. Diesemnach drückt der Wind gegen das in der Röhre enthaltene Wasser, und treibt es bis zu einer seiner Geschwindigkeit proportionalen Höhe im andern Schenkel empor, so dafs man aus dem Unterschiede des Wasserstandes die Geschwindigkeit berechnen kann. Hierfür gilt also die Formel $v' = \sqrt{\frac{h'}{h}}$, und da hierin h = 1 par. F. Wasserhöhe für eine Geschwindigkeit des Windes von 215 F. ist, so wird $v' = 215\sqrt{h'}$. Dieses für einige leicht zu interpolirende Höhen berechnet giebt folgende Werthe.

Höhe des Wassers im Anemometer.	Geschw. des Windes in 1 Secunde.	Druck gegen 1 par. Quad. Fufs.
0,5 Lin. . . .	12,664 . . .	0,25 ℔ Cöln.
1 Lin. . . .	17,868 . . .	0,50 —
2 Lin. . . .	25,328 . . .	1,01 —
4 Lin. . . .	35,819 . . .	2,02 —
6 Lin. . . .	43,870 . . .	3,04 —
1 Zoll . . .	62,687 . . .	6,08 —
2 Zoll . . .	87,739 . . .	12,17 —
3 Zoll . . .	107,460 . . .	18,25 —

Will man dagegen die Druckhöhe am Anemometer aus der Geschwindigkeit des Windes finden, so darf man die Formel nur umkehren, und erhält $h' = h\,\frac{v'^2}{v^2}$, worin h in par. Fufs gerechnet = 1 ist, also $h' = \frac{v'^2}{v^2}$, oder da v =

[1]) Phil. Trans. 1775. p. 353.

215 F. als normal angenommen ist, $h' = \frac{v^2}{46225}$. Oefter wird man wohl veranlafst werden, die Wirkung des Windes gegen eine gegebene Fläche zu finden, und da diese der Höhe proportional ist, bis zu welcher das Wasser getrieben wird, so darf man nur berücksichtigen, dafs h = 73 ℔. gegen 1 par. Quadratfufs Oberfläche angenommen ist, folglich h' in gleichem Mafse genommen $h' = \frac{73}{46225} v'^2$ die Druckkraft in Pfunden Cölnisch giebt, oder bequemer

$$h' = v'^2 \times 0{,}0015792320\ldots$$

Ist die Richtung des Windes nicht lothrecht auf die getroffene Fläche, sondern bildet die leztere einen Winkel mit der auf diese Richtung perpendiculären Fläche (den Wetterwinkel), so mufs die Kraft zerlegt werden, und es ergiebt sich bald, dafs die Bewegung der Fläche in der Richtung des Windes nur dem Quadrate des Cosinus dieses Neigungswinkels proportional seyn kann, und dafs also die hiernach corrigirte Kraft $k' = k \cos.^2 \psi$ ist, wenn k die absolute Kraft und ψ den Neigungswinkel der Fläche bedeutet. Bei Windmühlen richtet man die Flügel absichtlich schief gegen die Bahn des Windes, weil sie sich nicht in dieser, sondern in einer auf dieser lothrechten Richtung bewegen sollen, also nach Zerlegung des sie treffenden Stofses in die zwei Kräfte, in der Richtung des Sinus des Neigungswinkels. Die sie bewegende Kraft ist also $k'' = k \sin. \psi \cos.^2 \psi$, welches ein Maximum wird für $\psi = 35^\circ\, 16'$. Indefs erfordert dieser Gegenstand tiefere Untersuchungen [1].

Als Erläuterung der pneumatischen Gesetze dient das Flugrädchen unter der Campane, welches durch einströmende Luft von atmosphärischer Dichtigkeit in Bewegung gesetzt wird. Dasselbe besteht aus einem mit sehr geringer Reibung bewegten Rädchen von 8 bis 12 Flügeln aus sehr leichtem Holze oder Fischbein, etwa 2 Lin. breit und 1,5 Z. lang, welches unter einer Campane so gestellt wird, dafs die durch eine seitwärts in lezterer angebrachte Röhre ein-

---

1) S. Smeaton in Phil. Trans 1759. p. 100. I. Euler in N. C. Pet. VI. 41. Mém. de Berl. 1756. p. 165. Coulomb in Mém. de Berl. 1781. p. 65. Langsdorf Maschinenlehre I. 178. Neue Erweiterungen der mech. Wissensch. p. 271. V. Crelle Theorie des Windstofses. Berl. 1802. p. 4.

strömende Luft perpendiculär auf die Fügel stöfst. Ist dann die Campane exantlirt, und wird das Röhrchen geöffnet, so stürzt die Luft durch lezteres in den leeren Raum mit einer Geschwindigkeit von mehr als 1000 Fufs in 1 Sec. (§. 56.) und setzt das Flugrädchen in so viel schnellere Bewegung, als bei ihm der Widerstand der umgebenden Luft, mindestens zu Anfang der Bewegung, wegfällt. Interessanter ist die durch Otto v. Guericke sinnreich construirte Windbüchse mit verdünnter Luft, wie jener sie

Fig. 70.] nannte. Sie besteht aus einem metallenen Gefäfse A, welches nach abgeschrobenen oberen Röhren luftleer gemacht, und durch den Hahn g verschlossen wird. Die obere Röhre ab ist genau cylindrisch, an beiden Seiten offen, und blofs am Ende b mit einem leicht beweglichen, vermittelst etwas Fettes blofs vorgelegten, elfenbeinernen dünnen Scheibchen verschlossen. Am Ende b geht ein Canal in die Röhre ce, und führt aus diesem in das Gefäfs A, so dafs die einströmende Luft den Weg durch die Röhre abce nehmen mufs, um in das Gefäfs A zu gelangen Wird dann eine kleine Kugel (ein Schrotkorn) in die Oeffnung bei a gelegt, und der Hahn g geöffnet, so reifst die Luftströmung die Kugel mit sich fort, und ertheilt ihr eine dieser proportionale Geschwindigkeit; und wenn dann der Hahn g zu rechter Zeit geschlossen wird, so dafs das Hintreiben derselben nach c ihre Bewegung nicht hindert, so stöfst sie das Blättchen bei b fort, und fliegt mit einiger Kraft 12 bis 24 F. weit. Die Hauptsache beruhet darauf, den Hahn zur gehörigen Zeit wieder zu schliefsen, welcher nur einen Augenblick geöffnet seyn darf.

Die nämliche Erscheinung, welche oben §. 47 als dem bewegten Wasser eigenthümlich nachgewiesen ist, nämlich dafs dasselbe in erweiterten Röhren strömend Flüssigkeiten von unten emporsaugt, findet auch bei der Luft statt. Ist

Fig. 71.] nämlich ein konisches Rohr ab mit einem gläsernen, heberförmig gebogenen Rohre cde verbunden, an welchem sich das Gefäfs e befindet, ist lezteres bis zum Niveau $\alpha\beta$ mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllt, und wird in das Ende a hineingeblasen, so steigt die Flüssigkeit über α aufwärts, und zuweilen unter günstigen Bedingungen so stark, dafs z. B. Wasser bis 8 Zolle gehoben in die Röhre fliefst. Wird dagegen in das Ende b hineingeblasen, so sinkt das Wasser unter α nach d hinab. Die Röhre ab kann auch cylindrisch seyn, dann mufs aber das obere Ende der herabgehenden Röhre c gebogen und unter einem Winkel

etwa 30° mit der cylindrischen Röhre in leztere eingelassen seyn [1]).

Ungleich merkwürdiger ist ein anderes pneumatisches, kürzlich durch Clément entdecktes, anscheinend sehr paradoxes Phänomen. Wenn nämlich Dampf oder Luft aus einer Oeffnung in einer dünnen Scheibe mit einer gewissen Geschwindigkeit strömt, und man nähert dieser Scheibe eine andere, die Ausflufsöffnung völlig bedeckende, so müfste diese nach den erörterten Gesetzen mit einer gewissen Kraft abgestofsen werden, dagegen aber findet eine solche Anziehung derselben statt, dafs das Ausströmen der Luft dadurch gehindert wird, und sie an der ersten Scheibe fest-
Fig. 72.] hängt. Am einfachsten läfst sich die Erscheinung mit einer geraden, am Ende herab und wieder aufwärts gekrümmten Röhre ab beobachten, an deren aufwärtsgebogenen Ende die Scheibe cd befestigt ist, welcher man die kleinere Scheibe e nähert. Man bemerkt dann bald, dafs die leztere selbst aus einiger Entfernung angezogen wird, und an der unteren Scheibe mit solcher Gewalt anhaftet, dafs mehr als ihr ganzes Gewicht dadurch getragen wird. Hachette [2]) erklärte zuerst das Problem aus der Strömung der Flüssigkeiten. Es ist nämlich klar, dafs die aus der Oeffnung strömende gasförmige Flüssigkeit mit der ihr eigenthümlichen Geschwindigkeit den in diesem Strome liegenden Theil der genäherten Scheibe trifft, und diesen mit einer diesem angemessenen Geschwindigkeit fortstofst, wie man factisch auch daran wahrnimmt, dafs eine in der Mitte benetzte Papierscheibe an dieser Stelle in die Höhe getrieben wird; zugleich aber entweicht die Luft nach allen Seiten, behält dabei die Geschwindigkeit ihrer Bewegung bei, und obgleich sie bei ihrem Austritte aus der Oeffnung über die Dichtigkeit der äufseren Luft comprimirt ist, so mufs sie durch die Ausbreitung an Dichtigkeit verlieren, so dafs sie unter diejenige der umgebenden Luft herabsinkt. Indem leztere aber mit einer ihrer Dichtigkeit proportionalen Kraft gegen die Scheibe e drückt, so wird diese mit dem Unterschiede dieses und jenes Druckes gegen die Fläche cd getrieben. Es versteht sich hiernach, dafs die Scheibe e

---

1) Hawksbee erwähnt einen ähnlichen Versuch mit einer Aeolipile in A course of Mechanical cet. Experiments. Pneum. p. 18. Edinb. Journ. of Science. N. IV. p. 243.

2) Ann. de Chim. et Phys. XXXV. 34. Vergl. Poggendorff Ann. X. p. 265.

auch in meſsbarer Entfernung angezogen wird, welche indeſs nach den bedingenden Umständen ihre bestimmte Grenze hat, auch muſs die Scheibe e gröſser seyn als die Oeffnung, und es läſst sich gleichfalls auffinden, welche Gröſse die geringste ist, die sie bei gegebener Weite der Oeffnung haben muſs. Hachette hat ferner durch Erfahrung aufgefunden, daſs die Flächen der beiden Scheiben nicht nothwendig eben seyn müssen, daſs vielmehr die Kugelform weit vortheilhafter ist; welches sich leicht daraus erklärt, daſs dann die seitwärts gerichtete Strömung weniger gehindert wird, wenn der Luftstrom nicht in einem rechten Winkel auszuweichen genöthigt ist. Eben so läſst sich aus theoretischen Gründen, welche aus den angegebenen Gesetzen der Strömungen des Wassers und der Luft folgen, voraus bestimmen, daſs die Scheibe e noch stärker angezogen werden muſs, wenn beide Flächen nicht parallel sind, sondern von nach Auſsen erweitertem Abstande.

Bewegungen fester Körper durch Luft und Gasarten kommen hauptsächlich bei der Windbüchse und den Feuergewehren vor, indem in beiden Fällen eine stark verdichtete elastische Flüssigkeit die Kugel fortschleudert, welche bei den Windbüchsen vorher in einem hinlänglich starken Behälter eingeschlossen ist, bei den Feuergewehren aber im Augenblicke des Schusses chemisch entbunden wird. Die Erfindung der Windbüchsen ist sehr alt, indem Musschenbroek eine vom Jahre 1474 gesehen zu haben berichtet, auch wurden sie in älteren Zeiten so verfertigt, daſs sie sehr schwere Kugeln schossen [1]). Es giebt derselben hauptsächlich drei Arten, nämlich solche, bei denen die Luft in dem Zwischenraume zwischen den doppelten Wänden des Laufes comprimirt wird (die schlechteste Art), solche, bei denen eine am Anfange des Laufes herabhängende Kugel von starkem Kupfer als Behälter der verdichteten Luft dient, und endlich solche, bei denen der eiserne Kolben diesen Behälter ausmacht, von welcher Art die bekannten Tyroler sind. Bei allen wird die Verdichtung vermittelst einer einfachen Compressionspumpe hervorgebracht, welche aus einem eisernen Laufe meistens mit einem etwas langen Embolus besteht. Nach den Gesetzen vom Drucke der Luft läſst sich die Compression so viel mehr verstärken, je kleiner der Durchmesser der Pumpe ist. Indem nämlich

---

1) Musschenbroek Int. II. §. 2111.

der Druck der Luft gegen 1 par. Quadratzoll etwas über 15 ℔. beträgt (§. 51.), so würde bei einer Pumpe von dieser Weite eine Kraft von 1500 ℔. erfordert werden, um eine 100fache Verdichtung zu erzeugen, die Reibung und den Widerstand des Ventils nicht gerechnet; wäre dagegen jene Weite nicht gröſser als $^1/_4$ Quadratzoll, so würden nur 375 ℔. hierzu erforderlich seyn, und könnte man die Weite bis auf eine Linie herabbringen, so bedürfte es nur nahe 11 ℔. Kraft für jene Verdichtung. Meistens beträgt die Weite derselben in genähertem Werthe 0,3 Quadratzoll, wonach aber immerhin noch 450 ℔. Kraft erfordert werden, welche ein Mensch nicht überwinden, und also die Ladung nicht bis dahin bringen könnte, wenn dieses nicht durch einen Stoſs geschähe, vermittelst dessen sich bei gehöriger Fertigkeit die Zusammendrückung noch viel weiter treiben läſst. Es folgt indeſs hieraus, daſs die Behälter für die comprimirte Luft sehr stark seyn müssen, allein dennoch ist der Operirende nicht gegen die gefährlichsten Verwundungen gesichert, weil die Luft im Augenblicke einer starken und schnellen Zusammendrückung zündet (§. 86.), und wenn daher die ohnehin stark verdichtete Luft durch die Glühhitze des brennenden, unvermeidlich in den Behältern vorhandenen, Oeles ausgedehnt würde, so müſste auch der stärkste Behälter platzen. Man muſs daher die Füllung der Kugeln oder Kolben in Absätzen bewerkstelligen, damit diese sich erst gehörig wieder abkühlen, oder vermittelst eines Hebelwerks und mit sicherer Einschlieſsung derselben.

Die verdichtete Luft wird in den Behältern der Windbüchsen allezeit durch ein stählernes Kegelventil zurückgehalten, welches sowohl durch den Luftdruck als auch hauptsächlich anfangs durch eine schraubenförmig gewundene Feder von Draht schlieſst. Beim Losschieſsen wird dieses durch einen Stahldraht von etwa 1 Lin. Durchmesser, auf welchen ein durch den stark gespannten Hahn fortgeschnellter Hebelarm mächtig stöſst, momentan geöffnet, um nur so viel Luft herauszulassen, als zum Fortschleudern der Kugel erforderlich ist, wobei es auffällt, daſs ein so dünner Draht auch das am stärksten gepreſste Ventil ohne Ausnahme öffnet, wenn auch die gröſste Anstrengung des Drückens und mäſsiges Schlagen mit einem kleinen Hammer dieses nicht vermag. Gut geladene Windbüchsen schieſsen 12 Kugeln noch immer scharf, und so viele enthält auch das Magazin, welches an den Tyroler seitwärts zur schnelleren Ladung angebracht ist.

Zur Berechnung der Geschwindigkeit, welche den Kugeln ertheilt wird, läfst sich die (§. 56.) für die Luftströmung aufgefundene Formel benutzen, indem die Luft selbst diejenige Geschwindigkeit erhalten mufs, welche ihrer Dichtigkeit nach dem angegebenen Gesetze proportional ist. Dabei mufs aber berücksichtigt werden, dafs die Luft die Kugel nur im Verhältnifs ihrer beiderseitigen Dichtigkeiten bewegen kann, dafs zugleich ihre Dichtigkeit bei ihrer Ausbreitung im Laufe abnimmt, die Kugel aber in der anfänglichen Geschwindigkeit zu beharren strebt, welche wieder von der Ruhe ausgehend eine anfangs beschleunigte ist, wozu endlich noch der Widerstand der Luft im Laufe und die Reibung der Kugel kommt. Durch alle diese Bedingungen wird die Aufgabe eine sehr verwickelte, durch die bekannten Mittel der Analysis kaum mit hinlänglicher Genauigkeit lösbare. Berechnet man blofs die Strömungsgeschwindigkeit einer 100mal comprimirten Luft nach der Formel $v = 2\sqrt{\frac{g\,h}{\alpha\,\delta'}}$, den Werth von $\delta = 0{,}001299$ angenommen, so giebt dieses 1210 F. Geschwindigkeit in einer Secunde. Hiermit wirkt die comprimirte Luft zur Bewegung der Kugel in der Art, dafs ihre Kraft auf die Kugel und die im Laufe enthaltene Luft vertheilt, und die Summe der mit ihrer zunehmenden Ausdehnung im Laufe abnehmenden Pressungen gefunden werden mufs, welches Leztere dadurch geschieht, dafs man den natürlichen Logarithmen des Verhältnisses der Länge des Laufes zu dem Raume sucht, welchen die verdichtete Luft anfangs einnahm. Robins, Euler, D. Bernoulli u. a. haben diese Bedingungen mit in Rechnung genommen, und Karsten [1]) findet hieraus bei 100facher Verdichtung der Luft, die Länge des Laufes = 4 F. den Durchmesser der Kugel = 0,75 Z. angenommen, die Geschwindigkeit der Kugel bei ihrem Austritte aus dem Laufe = 654 par. Fufs.

Nach ähnlichen Grundsätzen wird die Geschwindigkeit berechnet, welche eine Geschützkugel durch die Kraft des explodirenden Schiefspulvers erhält, und es lassen sich hierbei leichter richtige Werthe erhalten, weil die Räume der Ladungen und die Längen des Geschützes besser bestimmbar sind. Ueber die Kraft des explodirenden Schiefspulvers sind dagegen noch keineswegs allgemein angenommene Be-

[1]) Lehrb. Th. IV. Absch. 8.

stimmungen vorhanden, auch ist diese nach der Güte desselben, dem ungleichen Verluste durch das Zündloch, der unverbrannt herausgestofsenen Menge u. s. w. sehr verschieden. Nach meinen Versuchen dehnt sich dasselbe beim Verbrennen in den etwa 442fachen Raum aus, den mittleren atmosphärischen Druck als Einheit und 0° C. als Temperatur angenommen [1]. Betrüge dann die Temperaturerhöhung beim Glühen des Schiefspulvers nur 1000° C., so würde die Raumvermehrung = 1657,5fach seyn, ohne den zugleich gebildeten Wasserdampf zu berücksichtigen, und man nimmt daher nicht mit Unrecht die Elasticität des Schiefspulverdampfes im Momente der Explosion zu 2200 Atmosphären an, wonach die Anfangsgeschwindigkeit der Kugel zwischen 2000 bis höchstens 2200 F. in einer Secunde beträgt. Nimmt man für eine 2000fache Verdichtung der Luft durch das explodirende Schifspulver 2000 F. Anfangsgeschwindigkeit an, so verhält sich diese leztere zu der einer Windbüchsenkugel, wenn sie mit 100facher Verdichtung geschossen wird, wie $\sqrt{2000} : \sqrt{100}$, und ist also $= 2000 \sqrt{\frac{100}{2000}} = 447$ F. in 1 Secunde, wobei aber in Beziehung auf den zu erhaltenden Effect wohl zu berücksichtigen ist, dafs der Widerstand der Luft, welchen die Kugel zu überwinden hat, dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit directe und ihrem spec. Gewichte umgekehrt proportional ist [2].

So wie die ausströmenden tropfbaren Flüssigkeiten durch einseitiges Aufheben ihres allseitigen Druckes gegen die Wandungen der einschliefsenden Gefäfse eine Reaction ausüben (§. 46.), mufs dieses auch bei elastischen der Fall seyn, und auf gleiche Weise hierdurch eine Bewegung erzeugt werden Zur Auffindung der Geschwindigkeit dieser Bewegung mufs dann der Ueberschufs der Elasticität der gasförmigen Flüssigkeiten über die der atmosphärischen Luft bekannt seyn, weil sie blofs mit diesem gegen die einschliefsenden Wände drücken. Die Gröfse des einseitigen

---

1) S. meine Abhandlung über d. Schiefspulver. Marb. 1817.

2) Die vielen Schriften und Abhandlungen über diesen Gegenstand, worunter Hutton's Tracts on mathematical and phil. Subjects Lond. 1812. III. vol. 8. und Robins Neue Grundsätze der Artillerie mit Anm. von L. Euler, Berlin 1745. 8. die wichtigsten sind, findet man benutzt in Gehler's Phys. Wört. Art. Ballistik. Th. I. p. 697. ff. Ueber die Dampf-Canonen s. §. 94.

Druckes ist hierbei leicht zu finden, indem sie dem Quadratinhalte der Fläche, welche eine freie Ausströmung gestattet, multiplicirt mit dem Ueberschusse der Elasticität der gasförmigen Flüssigkeit über die der atmosphärischen Luft, den einer 32 F. hohen Wassersäule als Einheit angenommen, gleich ist. Wäre also die Elasticität des explodirenden Schiefspulvers = 2000, wogegen die der atmosphärischen Luft als verschwindend zu betrachten ist, so wäre der Druck gegen einen Quadratfufs Fläche = 32000 × 70 = 2240000 par. ℔., und es läfst sich daher leicht übersehen, dafs eine Canone mit der nämlichen Gewalt rückwärts getrieben wird, womit die Kugel aus der Mündung fährt, wie die Versuche von Robins und Hutton auch gezeigt haben. Hieraus erklärt sich das Stofsen der Schiefsgewehre, das Zurückweichen der Canonen u. s. w., und wenn dieser Effect anscheinend geringer ist, so mufs man berücksichtigen, dafs die bewegende Kraft im Verhältnifs der Massen gegen die Kugel und das Geschütz wirkt. So wie übrigens bei der Berechnung der Geschwindigkeit des Segnerschen Wasserrades noch verschiedene Nebenbedingungen zu berücksichtigen sind, ist dieses auch der Fall bei den durch das Ausströmen der gasförmigen Flüssigkeiten erzeugten, namentlich in so fern der Druck in dem Verhältnisse abnimmt, in welchem die Geschwindigkeit der erzeugten Bewegung wächst. Hieraus werden die Bewegungen der Feuerräder und anderer Vorrichtungen dieser Art bei Feuerwerken erklärlich, insbesondere aber das Aufsteigen der gemeinen und der Brandracketen.

Brandracketen und gemeine sind eigentlich dem Wesen nach gleich, nur an Gröfse bedeutend verschieden. Der Brandracketen, welche von den Ostindiern ursprünglich erfunden, durch Congreve wesentlich verbessert sind, giebt es hauptsächlich zwei Arten, die kleinen von etwa 3 F. Länge und 4 Z. Durchmesser und die grofsen von 6 F. Länge und 10 bis 12 Z. Durchmesser, beide mit einer verhältnifsmäfsig langen leichten Stange versehen, wie die gemeinen mit einer Ruthe, damit ihr Schwerpunct unterhalb den Widerstandspunct der bewegenden Kraft zu liegen kommt, und sie demnach aufsteigen. Beide bestehen aus dem Körper von Eisenblech, welcher den sogenannten Satz, oder diejenige Masse enthält, durch deren Verbrennen die erforderliche Menge der elastischen Flüssigkeiten zur Bewirkung einer Reaction und hierdurch der verlangten Bewegung erzeugt wird, und aus dem für die erforderliche

Wirkung bestimmten Kopfe. Der Satz soll am wirksamsten seyn, d. h. den weitesten Wurf hervorbringen, wenn er in der Kunstsprache faul, oder langsam verbrennend ist, worauf die Lösung des Problems eigentlich beruhet; der Kopf trägt entweder eine Geschützkugel u. dgl. oder ist mit sehr brennbaren und leicht zündlichen Massen zur Verbreitung des Brandes in belagerten Festungen u. s. w. angefüllt. In lezterem Falle hat derselbe einen 6 bis 12 Z. langen starken Stachel, um in dem Holzwerke der Dächer festzustecken und das Feuer um sich her zu verbreiten, nachdem der Körper sich nach Schmelzung des Lothes durch die Hitze abgelöset hat, der Kopf aber mit seinem Stachel abwärts gekehrt herabgefallen ist.

D) Akustik.

1) Hervorbringung des Schalles.

§. 58.

Jede Bewegung fester oder flüssiger Körper, welche durch irgend ein Medium fortgepflanzt unsere inneren Gehörwerkzeuge afficirt, nennen wir, wenn sie regellos ist, ein Geräusch; wenn sie schnell vorübergehend und heftig ist, Knall; wenn sie anhaltend und stark ist, ein Getöse; wenn sie in ihrer Wirkung gleichförmig ist, Ton. Blofs der leztere kann ein Gegenstand der physikalischen Untersuchung werden, und dient dann zur Erklärung der ersteren; das Ganze gehört unter die Lehre vom Schalle, und kommt dabei der schallende Körper, das leitende Medium und das wahrnehmende Ohr hauptsächlich in Betrachtung. Alle feste Körper nämlich, sobald sie durch Schlagen, Streichen mit einem Violin-Bogen, Reiben oder ein sonstiges Mittel zum Tönen gebracht werden, gerathen in gewisse eigenthümliche Schwingungen, wobei einige Theile derselben ruhen, andere aber pendelartig schwingen. Erstere heifsen Schwingungsknoten, leztere Schwingungsbogen. Ein allgemeiner, für alle Körper gültiger

analytischer Ausdruck, worunter die gesammten Gesetze dieser Schwingungen begriffen werden könnten, ist noch nicht aufgefunden.

Die deutsche Sprache ist vor den übrigen sehr reich an solchen Wörtern, welche zur Bezeichnung der verschiedenen bei der Lehre vom Schalle zur Untersuchung kommenden Erscheinungen dienen, wogegen Chladni [1]) sehr über die Mangelhaftigkeit namentlich der französischen Sprache in dieser Hinsicht klagt. Die meisten hierher gehörigen Ausdrücke sind im §. angegeben und erklärt, die übrigen noch etwa vorkommenden sind von selbst verständlich. Nur eine Bezeichnung ist in keiner mir bekannten Sprache genau bestimmt. Es können nämlich zwei oder mehrere Töne von gleicher Höhe und gleicher Stärke seyn, und dennoch nimmt das Ohr einen merklichen Unterschied zwischen ihnen wahr, wie z. B. zwischen dem nämlichen Tone auf der Flöte, der Geige, dem Horn u. s. w. (Vergl. §. 63). Die deutsche Sprache bietet zur Bezeichnung das Wort *Klang* dar, und es ist zu wünschen, dafs dieses in der angegebenen Bedeutung allgemein eingeführt werde.

Die Existenz der Schall-Schwingungen, im Gegensatze des früher angenommenen Erzitterns der kleinsten Theile, läfst sich leicht darthun an einem festgeschrobenen metallenen oder hölzernen Stabe; an einer Stimmgabel; an einer angeschlagenen Glocke, wenn man ein Stückchen Siegellack an einem Zwirnsfaden daran hält; an einem Glase mit Wasser, dessen Rand man mit dem Finger streicht u. s. w.

Nach Chladni [2]) giebt es überhaupt folgende einen Schall erzeugende Körper:

- Durch Spannung elastisch
  - fadenförmig. Sie schwingen
    - transversal.
    - longitudinal.
  - membranenförmig.
- Durch Druck elastisch, als Luft und Dämpfe.
- Durch innere Steifheit elastisch.
  - fadenförmig
    - gerade.
      - deren Schwingung ist
        - transversal.
        - longitudinal.
        - drehend.
    - gekrümmte. (Ringe, Gabeln)
  - membranenförmig.
    - gerade. (Scheiben.)
    - gekrümmte (Glocken u. a.)

---

[1]) Neue Beiträge zur Akustik. Leipz. 1817. Vorr.

[2]) Neue Beit. zur Akustik p. 61.

Es giebt noch andere allgemeine Eintheilungen der sämmtlichen schallenden Körper, z. B. von Wheatstone [1]), welche mir aber insgesammt minder zweckmäſsig scheinen.

§. 59.

Am leichtesten lassen sich die Gesetze dieser Schwingungen an gespannten Saiten nachweisen, und man findet bald, daſs die Höhe des Tones der Zahl der Schwingungen direct proportional ist. L. Euler stellte hierüber ein allgemeines Gesetz auf, Chladni aber hat dasselbe auf bestimmte Zahlen zurückgebracht.

Durch stärkere Anspannung einer Saite kann man sich überzeugen, daſs eine gewisse Geschwindigkeit der Schwingungen als minimum zur Hervorbringung des Schalles erforderlich ist. Wenn nämlich die Saite oder der Faden zu wenig gespannt ist, so daſs man die Schwingungen noch deutlich unterscheiden kann, so hört man gar keinen Ton; werden sie aber so schnell, daſs man sie kaum noch wahrnimmt, so kommt der Ton zum Vorschein, und wird so viel höher, je schneller jene sind. Faſst man das eine Ende zwischen den Zähnen, so wird der Ton wegen besserer Leitung vernehmlicher. (§. 64.).

Ist eine Saite zwischen zwei Halter festgespannt (wobei man meistens an den Enden Stege unter sie stellt, um die Schwingungsknoten an eine bestimmtere Stelle zu bringen), so lassen sich bei dieser verschiedene Schwingungen denken, Fig. 73.] und sichtbar darstellen. Ist die Saite a b auf dem Monochord A B durch die Stege a und b so unterstützt, daſs man in diesen beiden Puncten ihre Schwingungsknoten liegend annehmen kann, so sind zwischen diesen mehrfache Abtheilungen denkbar, und müssen auch bei der Bildung der Töne wirklich entstehen, weil die lezteren nicht allezeit gleich sind. Der einfachste und gewöhnlichste Fall ist, wenn die Saite zwischen diesen beiden Schwingungsknoten nur einen einzigen Bogen bildet. Der hierzu gehörige Ton wird erhalten, wenn man die Saite mit einem harten Körper stöſst, sie aus ihrer Ruhe zieht und losschnellen läſst, oder wenn man sie mit einem Violinbogen streicht. Die Saite kann indeſs auch in der Mitte einen Schwingungsknoten,

---

[1]) Annals of Phil. XXXII. 80.

und also zwei Schwingungsbogen bekommen, überhaupt kann man sich dieselbe durch eine willkührliche Anzahl Schwingungsknoten in eine correspondirende Menge Theile abgetheilt vorstellen, welche sämmtlich von gleicher Länge jede einen gleich großen Schwingungsbogen bilden, wodurch dann die Höhe des Tones bedingt wird. Man kann
Fig. 74.] dieses am leichtesten sichtbar machen, wenn man die Saite zwischen den beiden Stegen a b in 4 gleiche Theile theilt, im Puncte α (oder γ) leise mit einem schmalen Körper berührt, nachdem in β und γ kleine krummgebogene Streifchen von Papier, etwa 6 Lin. lang und 1 Lin. breit und eben solche zwischen $a\gamma$; $\gamma\beta$ und $\beta\alpha$ gehangen hat, und dann zwischen $b\alpha$ mit einem Violinbogen streicht. Es werden dann die Papiere in den Schwingungsknoten liegen bleiben, auf den Schwingungsbogen aber mit großer Heftigkeit herabgeschleudert werden. Daſs auch noch mehrfachere Abtheilungen der Saiten auf die angezeigte Weise sichtbar gemacht werden können, hat Chladni bei seiner ausgezeichneten Fertigkeit in diesen Experimenten factisch erwiesen, allein ohne Uebung gelingt das Experiment selten.

Aus dem Gesetze der Pendelschwingungen folgerte Euler, daſs für Saiten bei einer Länge $= L$, einem Gewichte $= G$, und einer spannenden Kraft $= P$ die Zeit der Schwingungen $t = \sqrt{\frac{LG}{2gP}}$ ist. Es ist aber bei einem spec. Gew. $= p'$, $G = r^2 \pi L p'$; mithin $t = rL\sqrt{\frac{\pi p'}{2gP}}$. Ist dann die Zahl der Schwingungen $= N$, so ist $T = NrL \sqrt{\frac{\pi p'}{2gP}}$, woraus für $T = 1''$, $N = \frac{1}{rL}\sqrt{\frac{2gP}{\pi p'}}$ folgt. Es verhalten sich also die Schwingungsmengen einer Saite umgekehrt wie die Längen, und da eine Saite, wenn man unter übrigens gleichen Bedingungen ihre Länge halbirt, die Octave angiebt, so haben wir für jede Stimmung

Töne	C.	D.	E.	F.	G.	A.	H.	c.
N.	1 .	$9/8$.	$5/4$.	$4/3$.	$3/2$.	$5/3$.	$15/8$.	2.
L.	1 .	$8/9$.	$4/5$.	$3/4$.	$2/3$.	$3/5$.	$8/15$.	$1/2$.

Nach der angegebenen Formel läſst sich die Zahl der Schwingungen einer gegebenen Saite, und somit der Ton berechnen, den sie giebt, wenn die einem jeden Tone zugehörige absolute Menge der Schwingungen bekannt ist. Allein die genaue Bestimmung der Dicke der Saiten und ihres spec. Gewichtes unterliegt großen Schwierigkeiten. Man pflegt

indeſs insgemein diese Sätze durch das *Monochord* [1]) anschaulich zu machen. Dieses besteht in der Hauptsache aus einem Resonanzboden, über welchem eine (zuweilen zur Vergleichung zwei) Saite so gespannt ist, daſs sie an dem einen Ende ganz festsitzt, am andern über eine leicht bewegliche Rolle geht und durch Gewichte beschwert ist. Vermehrt man die lezteren, und läſst die Länge, welche zwischen den beiden Enden durch zwei feste Stege genau fixirt ist, unverändert, so wächst die Höhe des Tones den Quadratwurzeln dieser Gewichte direct proportional. Bleibt das Gewicht unverändert, dessen Gröſse übrigens willkührlich seyn kann, wenn es die Saite nur zur Hervorbringung eines Tones hinlänglich spannt, so wächst die Höhe des Tones den Längen proportional. Heiſst der Ton, welchen die ganze Saite giebt, die Tonica, so geben $^4/_5$ derselben die zu jener gehörige Terze, $^3/_4$ die Quinte, $^1/_2$ die Octave, wodurch man den harmonischen Dreiklang darstellt. Nimmt man $^3/_4$ der ganzen, die Tonica gebenden Saite, so erhält man zu dieser die Quarte, zu ihrer Octave die untere Quinte. Diese Resultate sind allgemein, und passen für jeden Ton, welchen die in ihrer ganzen Länge mit einem einzigen Bogen schwingende Saite giebt, weswegen man die Tonica immerhin C nennen kann, um dann die Terze e, die Quinte g und die Octave c zu nennen. Es ist dieses um so mehr zulässig, da bekanntlich nicht alle Orchester und nicht alle Instrumente die nämliche Stimmung für die nämlichen Töne haben.

Man war lange Zeit bemühet, die absolute Menge der Schwingungen aufzufinden, welche irgend einen bestimmten Ton geben [2]), und wollte in Ermangelung einer genauen Bestimmung eine genäherte Zahl dafür annehmen, bis Chladni dieses Problem auf eine sehr einfache Weise lösete. Er spannte nämlich elastische stählerne Stäbe an einem Ende sehr fest in einen Schraubstock, und lieſs sie pendelartig schwingen, indem er das andere Ende derselben seitwärts bog. Bei der Verkürzung derselben fand er, daſs die Zahlen ihrer Schwingungen den Quadraten ihrer Längen umgekehrt proportional waren; er konnte sie also bis zu einer gewissen Länge verkürzen, wobei ihre Schwingungen nicht mehr zählbar waren, der Ton aber hörbar wurde, und es lieſsen sich demnach die demselben zugehörigen Schwingungen aus der Zahl derjenigen, welche der Stab bei einer gröſseren

[1]) S. Fischer in Mag. der Ges. Naturf. Freunde. Berl. 1801. I.

[2]) Z. B. Sauveur in Hist. de l'Acad. 1713. p. 324. Sarti u. a.

gemessenen Länge gegeben hatte, leicht durch Rechnung finden. Der Ton wurde dann nach einer kleinen Flöte, welche die Stimmung des Pariser Conservatoriums hatte, benannt. Nach diesen Uetersuchungen hat

das 32 füfs. C der Orgeln			32 Schwing.	
16 f C	—	—	64	—
grofse C	—	—	128	—
ungestrichene C	—		256	—
eingestr. c		—	512	—

Die Summe der vernehmbaren Töne fängt also mit 32 Schwingungen an, und scheint mit c = 16384 zu endigen, wenn anders das Ohr nicht noch eine Octave mehr zu unterscheiden vermag, in welchem Falle wir die äufserste Grenze bei 32768 Schwingungen setzen müfsten, worüber Chladni selbst nicht zu entscheiden wagte. Könnten wir demnach ein Secundenpendel schwingen hören, so würde dieser Ton fünf Octaven unter dem tiefsten Orgeltone liegen, und eine Pfeife von 1024 F. Länge erfordern [1]).

Es lassen sich von diesen Sätzen eine Menge praktische Anwendungen machen, wovon hier nur Folgendes. Es ist nicht nothwendig, dafs die ganze Menge der genannten Schwingungen vorhanden sey, wenn das Ohr den individuellen Ton unterscheiden soll, weil sonst jeder Ton eine ganze Secunde erfordern würde, um wahrgenommen zu werden, vielmehr ist nur erforderlich, dafs das Ohr das Verhältnifs der Schwingungsmengen zu der Zeit, in welcher sie erfolgen, erkenne. Hieraus geht aber hervor, dafs die sehr tiefen Töne nicht schnell auf einander folgen dürfen, wenn die geforderte Wahrnehmung stattfinden soll. Lägen z. B. die Töne zwischen denen, welche 32 und 64 Schwingungen haben, und man wollte ihrer 64 in 1 Secunde auf einander folgen lassen, so könnte das Zeitinterval ihrer Schwingungen gar nicht wahrgenommen werden. Es ist aber noch ein anderer Grund vorhanden, warum die sehr tiefen Töne nur langsam wahrgenommen werden können, nämlich weil es allezeit eine längere Zeit erfordert, bis die grofsen und langen, einen stärkeren Widerstand entgegenstellenden Körper in regelmäfsige Schwingungen versetzt werden. Man nimmt dieses deutlich wahr, wenn die tiefen Pedaltöne der Orgeln ansprechen sollen.

---

1) S. Chladni in Voigt Mag. I. I. G. V. I. Vorzüglich lehrreich wegen lit. Nachw. ist Gilb. XX. 337. Chladni in Traité d'Acoustique u. s. w.

§. 60.

Aufser den Saiten tönen auch sonstige sehr elastische verschiedenartig geformte Körper, wenn sie auf irgend eine Weise in die erforderliche schwingende Bewegung gesetzt werden, wobei jederzeit gleichfalls die Schwingungsbogen von den Schwingungsknoten unterschieden werden können. Vorzüglich gehören hierher aufser den Tönen der Glocke Membranen und Stäbe, die Chladnischen Klangfiguren tönender Scheiben, die Längentöne der Saiten und Stäbe, und die durch drehende Bewegung erzeugten Töne gläserner Stäbe.

Die Glocken tönen auf eine ähnliche Weise, als gerade, durch eigene Steifheit elastische Scheiben, und man kann sagen, dafs zwischen geraden und zu Glocken gebogenen Scheiben ein ähnliches Verhältnifs stattfindet, als zwischen geraden und zu Stimmgabeln gebogenen Stäben. Aus diesem Grunde hat eine Glocke da, wo ihre obere Wölbung ist, eben so wenig Schwingungsbogen, als eine Stimmgabel in ihrer Krümmung. Wird eine Glocke angeschlagen, so theilt sich ihre ganze Fläche in mehrere durch Knotenlinien getrennte Theile, welche leztere einzeln schwingen und an den Schwingungen des Ganzen Theil nehmen, weswegen man auch zuweilen die einzelnen höheren Töne zugleich wahrnimmt. Diese lezteren kann man hervorbringen, wenn man die Glocken in einem oder zwei Schwingungsknoten sanft festhält und in der Richtung ihres Durchmessers mit einem Violinbogen streicht. Geborstene Glocken können nicht tönen, weil die schwingenden Theile in dem entstandenen Risse gegeneinander stofsen, und die Schwingungen stören, eben wie eine berührte Saite zu tönen aufhört; sie erhalten jedoch einen Ton, und meistens einen tieferen Ton wieder, wenn man den Rifs ganz aussägt. Franklin's Glasglockenharmonica gewährt die schönsten Töne, welche man vermittelst der Glocken erzeugen kann.

Schmale Membranen schwingen wie Saiten, breite und allseitig gespannte wie Scheiben. In ihnen erreichen die musikalischen Instrumente ihre Grenze. Ein Paukenfell, über einen kupfernen Kessel gleichmäfsig ausgespannt, hat noch regelmäfsige Schwingungen und giebt einen Ton, ein Trommelfell, wobei diese regelmäfsige Spannung nicht erreicht

werden kann, dessen Schwingungen mit denen des gegenüberstehenden zusammenfallen, indem die lezteren noch obendrein durch den übergespannten Riemen gestört werden, giebt keinen Ton mehr, sondern nur ein Getöse, und ist sonach kein musikalisches Instrument.

Stäbe, durch ihre eigene Steifheit elastisch, haben eine grofse Menge verschiedenartiger Schwingungen, deren Schwingungsknoten höchst merkwürdige und sehr mannigfaltige Lagen und Formen zeigen, welche hauptsächlich Savart [1]) untersucht hat. Zu dem Wesentlichsten und Leichtesten gehört Folgendes. Ist ein Stab an einem Ende befestigt, so schwingt er pendelartig um diesen Schwingungsknoten; wird er dagegen an beiden Enden befestigt, so schwingt er nach Art der über zwei Stege gespannten Saiten. Ist der Stab flach, so kann man die Knotenlinien sichtbar machen. Zu diesem Ende bestreue man ihn mit feinem, nicht staubigen Sande, halte ihn im vierten Theile seiner Länge fest, und streiche das kürzere Ende mit einem Violinbogen, so werden sich an der gehaltenen Stelle und einer der correspondirenden am andern Ende durch liegenbleibende Streifen Sand Knotenlinien zeigen. Der Stab schwingt also an beiden Enden mit der einfachen Länge um die eine Knotenlinie und in der Mitte mit der doppelten Länge zwischen den beiden Knotenlinien. Biegt man denselben krumm, so rücken die Knotenlinien einander näher, bis sie in der Stimmgabel zusammenfallen, so dafs diese also einen Stiel bekommen, und an diesem gehalten doch tönen kann.

Die Schwingungen von Stäben sichtbar darzustellen dient eine elegante Spielerei, welche Wheatstone erfunden hat [2]). Man befestigt zu diesem Ende elastische, etwa eine Linie dicke und 10 bis 15 Z. lange Stäbe auf einem unbeweglichen Bodenbrette, giebt ihnen oben Knöpfchen mit spiegelnden Flächen, von denen auffallendes Sonnenlicht reflectirt wird. Werden dann die Stäbe mit einem Violinbogen gestrichen, so gerathen die Knöpfe in Schwingungen, und durchlaufen mannigfaltige Curven, welche sie zugleich dem zurückgestrahlten Lichte mittheilen. Die ganz sinnreiche Idee kann leicht auf sehr mannigfaltige Weise modificirt und abgeändert ausgeführt werden; der

---

[1]) Ann. de Chim. et de Phys. seit 1822 an v. O.

[2]) Quarterly Journ. of Sc. Lit. and Art. N. S. II. 345

Erfinder nennt den Apparat *Kaleidophon* oder *phonisches Kaleidoskop*.

Wendet man die für Saiten gegebene Formel auf gespannte Stäbe an, so ist übereinstimmend mit Chladni's Versuchen, wenn die Rigidität der Substanz $= \varrho$ genannt, und n eine für einerlei Arten der Schwingungen gleiche, bei verschiedenen Schwingungen hinsichtlich der Schwingungsknoten aber wechselnde Zahl bedeutet nach Biot[1])

$$N = \frac{n^2 r \pi}{L^2} \sqrt{\frac{2 g \varrho}{p'}}.$$

Die durch Chladni erfundenen Klangfiguren haben ausnehmend dazu beigetragen, die Theorie der Schallschwingungen zu berichtigen oder ganz eigentlich zu begründen. Galilei[2]) redet zwar von etwas Aehnlichem, allein muthmafslich sind unter den von ihm genannten Erscheinungen blofs diejenigen zu verstehen, welche angeschlagene Medaillen an feinem aufgestreuten Sande zeigen. Wenn man sich Scheiben von verschiedener Gröfse, hauptsächlich aber von verschiedener Form vorstellen, und theoretisch betrachten wollte, in wie viele gleichmäfsige Abtheilungen dieselben wohl getheilt werden könnten, so würde man zwar sehr bald zu einer grofsen Mannigfaltigkeit der Figuren gelangen, schwerlich aber diejenige Menge erreichen, welche durch den unermüdeten Chladni wirklich dargestellt ist, und wovon sich die Abbildungen in seinen Werken befinden. Auf eine leichte Weise gelangt man zu folgenden Erscheinungen. Man wähle möglichst gleichmäfsig, nur 0,25 bis 0,3 Lin. dicke Scheiben von gemeinem Fensterglase, quadratisch und so grofs, dafs man sie mit dem Daumen und Mittelfinger ohne Berührung des Randes in der Mitte festhalten kann, schleife die Seiten auf einem Sandsteine so weit rund, dafs sie nicht mehr schneidend sind, bestreue sie mit feinem, durch Slemmen von seinem Staube befreiten Sande, halte sie an verschiedenen Stellen zwischen den Fingern in horizontaler Lage und streiche den Rand in lothrechter Richtung mit einem Violinbogen. Durch Veränderung des Punctes, wo man sie festhält, wozu noch ein oder etliche in einem gewissen regelmäfsigen Verhältnisse zu einander stehende Unterstützungspuncte kommen können, durch den Ort, wo man streicht und durch die Stärke des Streichens

---

[1]) Traité de Phys. II. 80.

[2]) Opp. di Galileo-Galilei. Pad. 1761 III. p. 59.

läfst sich dann eine zahllose Menge der verschiedensten Figuren erzeugen, wobei nur allgemein die Regel gilt, dafs dahin, wo sie festgehalten oder unterstützt werden, Schwingungsknoten fallen, dahin aber, wo man sie streicht, Fig. 75.] Schwingungsbogen. Hält man die Scheibe daher in ihrer Mitte, und streicht in der Nähe einer der Ecken bei α, so mufs in der Mitte ein Schwingungsknoten entstehen und sich durch die Scheibe als ein Kreuz hinziehen, worauf der Sand liegenbleibt, während er von den schwingenden Theilen fortgeschleudert wird, streicht man dagegen in der Fig. 76.] Mitte der einen Seite bei α, so fängt diese an zu schwingen, und damit zugleich die correspondirenden Theile, so dafs die gezeichnete Figur entstehen mufs. Noch interessanter und belehrender ist, wenn man die Scheibe in vier Fig. 77.] Theile theilt, und in dem 4ten Theile ihres Durchmessers festhält, dann in α streicht, und die gezeichnete Figur zum Vorschein kommt. Hieraus ergiebt sich, dafs die Länge der von einer Knotenlinie aus schwingenden Theile ab; cd gerade die Hälfte von der Länge der zwischen zwei Knotenlinien schwingenden beträgt, wie aus der Theorie sehr einfach folgt. Durch andere Verhältnisse der Puncte, wo die Scheiben gehalten und wo sie gestrichen werden, durch sanfteres oder stärkeres Streichen lassen sich eine grofse Menge gerader und krummer Knotenlinien erzeugen, auch hat Chladni ein gewisses Verhältnifs zwischen der Figur und der Tonhöhe wenigstens für rechtwinkliche Scheiben nachgewiesen [1]. Statt der rechtwinklichen Scheiben kann man auch dreieckige, fünfeckige u. s. w. mit gleichen und ungleichen Seiten, auch runde nehmen, desgleichen sie statt mit Sande zu bestreuen mit einer dünnen Schichte Wasser nach Wheatstone [2] bedecken, welches dann interessante Wellen zeigt. Bei Scheiben von den Durchmessern D und d, den dicken C und c ist nach Chladni die Zahl der Schwingungen $N = n \frac{Cd^2}{cD^2}$.

Das Vorhandenseyn der Longitudinalschwingungen, oder solcher, welche die Längentöne geben, und sich von den gewöhnlichen, bisher betrachteten transversalen, wodurch die gewöhnlichen Töne hervorgebracht werden, unterscheiden, läfst sich leicht erweisen, wenn man eine gespannte Saite,

---

[1]) S. Chladni Akustik und Neue Beiträge zur Akustik a. v. O. Vergl. Hauy in J. de Phys. LXXXVIII. 125.

[2]) S. Ann. de Chim. et de Phys. XXIII. 313.

deren Ton bekannt ist, unter einem sehr spitzen Winkel mit einem Violinbogen streicht, und einen bedeutend höheren Ton erhält. Ungleich wohlklingender lassen sie sich an 3 bis 5 Fuſs langen oder auch längeren Glasröhren (Thermometerröhren) hervorbringen. Um sich vorläufig zu überzeugen, daſs diese durch transversale Schwingungen einen sehr tiefen Ton geben, darf man sie nur an einen doppelten Faden binden, diesen mit beiden Fingern in beide Ohren bringen, so daſs die Glasröhre frei herabhängt, und leztere dann mit einem harten Körper schlagen, wobei man einen ihrer Dicke und Länge proportionalen tiefen Ton hört. Man nimmt dann ein befeuchtetes wollenes Läpchen, schabt etwas weniges feines Bimssteinpulver darauf, hält die Röhre ohngefähr in ihrer Mitte, und streicht sie am einen Ende der Länge nach mit dem zwischen den Fingern gehaltenen Läppchen, so kommt ein sehr klarer und ungleich höherer Ton zum Vorschein, als welcher durch die transversalen Schwingungen erzeugt wurde.

Von welcher Art die longitudinalen Schwingungen sind, läſst sich nicht auf gleiche Weise zur deutlichen Anschauung bringen, als dieses bei den transversalen möglich ist, und es wird daher nur hypothetisch mit groſser Wahrscheinlichkeit in Folge der Art ihrer Entstehung angenommen, daſs die Körper hierbei sich in bestimmten Intervallen nach der Länge ausdehnen und zusammenziehen. Wird nämlich eine Saite durch einen Violinbogen transversal gestrichen, so wird sie in jedem Zeitelemente aus ihrer Lage gerissen und kehrt eben so schnell durch ihre eigene Elasticität wieder in dieselbe zurück; auf gleiche Weise muſs man sich denken, daſs z. B. die Glasröhre zwischen dem wollenen Läppchen gerieben in jedem verschwindenden Zeitmomente eine unmeſsbare Ausdehnung und Zusammenziehung erhält, welche wegen überwiegend groſser Cohäsion im Verhältniſs zur transversalen Ablenkung aus ihrer Lage so viel schneller erfolgen, und daher einen ungleich höheren Ton geben.

Die hier mitgetheilte Ansicht scheint mir durch ein jüngsthin bekannt gewordenes interessantes Phänomen Bestätigung zu finden. W. Weber [1]) nahm 4 bis 6 F. lange, 3 bis 6 Lin. Durchmesser habende Glasröhren, steckte in das untere Ende einen genau passenden, an der Grenze der Röhre abgeschnittenen Glasstöpsel, hielt die Röhre lothrecht, faſste sie in der Mitte, und erzeugte durch Reiben mit einem

[1]) Schweigg. J. LIII. p. 308.

nassen wollenen Läppchen den zugehörigen Längenton. Sofort stieg der Glasstöpsel in die Höhe, und übte dabei eine solche Gewalt aus, daſs er zugleich eine darüber gegossene, mehrere Fuſs hohe Wassersäule hob. Ja sogar als die Röhre ganz voll Wasser gegossen, und oben mit einem Glasstöpsel verschlossen wurde, hob der untere Stöpsel das Wasser mit solcher Gewalt, daſs es oben in feinen Strahlen herausspritzte. Der untere Stöpsel stieg, wenn er frei war, bis an den Schwingungsknoten, mit Wasser bedeckt blieb er aber unter demselben. Das Phänomen gleicht dem Hinauftreiben einer Axt auf den Stiel durch Klopfen auf denselben, und leitet zur Erklärung der Longitudinalschwingungen schallender Körper [1].

Merkwürdig ist das Verhältniſs der Höhe zwischen den durch longitudinale und den durch drehende Schwingungen entstehenden Tönen, indem leztere allezeit eine Quinte tiefer sind, als die ersteren. Sie sind bei weitem schwieriger, als die beiden bisher untersuchten zu erhalten, lassen sich aber in geringerer Stärke am leichtesten mit dünnen und 4 bis 7 oder gar 9 F. langen Glasröhren erhalten, wenn man diese in der Mitte zwischen den Fingern hält, an derjenigen Stelle, wo ihr Longitudinalton am hellsten anspricht, mit dem beschriebenen Läppchen umfaſst, und sie dann um ihre Axe etwas schnell drehet. Die unmittelbare Folge ihres Longitudinaltones und des durch drehende Bewegung entstandenen giebt einem geübten Ohre das Mittel, beide als eine Quinte von einander abstehend zu vergleichen. Der eigentliche Grund dieses Verhältnisses dürfte schwer aufzufinden seyn, die Ursache der Entstehung eines Tones überhaupt läſst sich dagegen aus den hierüber bekannten Gesetzen leicht erklären. (Vergl. §. 61.).

Wird eine Saite an irgend einer Stelle, welche einen aliquoten Theil ihrer ganzen Länge bildet, leise berührt, und dieser Theil zum Tönen gebracht, so schwingen die einzelnen Abtheilungen für sich und oft auch die ganzen Saiten. Hierin liegt die Erklärung der Flageolett-Töne, und derjenigen, welche die Aeolsharfe giebt. Flageolett-Töne nennt man sie wegen ihrer Aehnlichkeit mit denen, welche eine kleine Pfeife giebt, indem sie sehr hoch sind. Sie werden hervorgebracht, wenn man die Saite eines Monochords im vierten Theile ihrer Länge leise berührt, und

---

[1]) Vergl. §. 64. La Place's Theorie der Schallfortpflanzung durch feste Körper.

diese kleinere Abtheilung mit dem Violinbogen zart streicht, in welchem Falle man die Doppeloctave erhält, zum Beweise, daſs die Saite auſser ihren zwei Schwingungsknoten noch drei zwischen diesen liegende erhalten hat. In dieser Erklärung liegt zugleich der Grund, warum die auf der Geige und dem Violoncello leicht hervorzubringenden Flageolettöne nicht in einer gleichen Folge nach ihrer Höhe zum Vorschein kommen, als die gewöhnlichen Töne.

Die durch Athanas. Kircher erfundene *Aeolsharfe* besteht aus einem tannenen Kasten, etwa 4 F. lang, 8 Z. breit und 5 Z. hoch, mit einem guten Resonanzboden nebst den Unterlagen für Stege und Wirbel oben, unten dagegen, wo er am besten gegen 2 Zolle verjüngt ist, mit einem gewöhnlichen Boden versehen oder offen. Ueber den Resonanzboden sind Darmsaiten (sogenannte Quinten, Guitarrensaiten) über zwei nahe an den Enden befindliche Stege gespannt, welche an einem Ende durch Haken, am andern durch Violinwirbel festgehalten werden. Ihre Zahl muſs mindestens drei seyn, man geht aber auch bis 7 oder 9, und giebt allen eine gleiche Stimmung. Wird dann die Aeolsharfe in einen Baum oder in eine Fensteröffnung so gestellt, daſs ein starker Zugwind schräg gegen die Saiten trifft, so geben diese nicht bloſs die Tonica, sondern zugleich die nächsten harmonischen Verhältniſstöne, meistens den harmonischen Dreiklang, oft auch durch zwei Octaven. Der Grund liegt ohne Zweifel darin, daſs die in Schwingung versetzten Saiten die in rationalen Verhältnissen mit ihnen stehenden Schwingungen in den andern hervorrufen (Mittönen §. 63.), hauptsächlich aber darin, daſs der allseitig auf die Saiten wirkende Luftstrom einige Saiten in verschiedene Abtheilungen theilt, und die diesen zugehörigen Schwingungen hervorruft. Dieses läſst sich indeſs nur mit groſser Wahrscheinlichkeit angeben, ohne daſs man die Schwingungsknoten und die sie erzeugende specielle Ursache bestimmt nachzuweisen vermag [1]).

Lange Saiten und groſse Glocken, aber auch verschiedene Instrumente, geben zuweilen neben dem Hapttone noch hörbare höhere Nebentöne, welche dadurch entstehen, daſs neben den Schwingungen derselben im Ganzen noch solche statt finden, welche von einzelnen Theilen erzeugt werden. Sie absichtlich hervorzubringen ist schwer, leichter erzeugt sie der Zufall, am meisten wenn Anfänger ein

[1]) Gilb. Ann. X. 57.

Instrument, namentlich das Horn, noch nicht gehörig zu behandeln wissen. Am häufigsten hört man nur die Octave, zuweilen auch die Doppeloctave, die Doppelquinte und die Terze der Doppeloctave. Diese Töne, C als Tonica angenommen, sind C; e; g; $\bar{c}$; $\bar{e}$, und die ihnen zugehörigen Schwingungszahlen sind 1; 2; 3; 4; 5, welches auf Abtheilungen in einfachen rationalen Verhältnissen deutet.

Eine eigene Betrachtung verdienen noch die durch Vieth sogenannten, in englischen Zeitschriften weitläuftig verhandelten, *Combinationstöne*. Oft hört man nämlich neben zwei Tönen noch einen dritten tieferen, welcher nach den vorausgehenden Untersuchungen nicht durch eigenthümliche Schwingungen entstanden seyn kann, sondern durch das Zusammenfallen derjenigen gebildet werden muſs, welche den erzeugten Tönen zugehören. Meistens werden die Combinationstöne nicht für sich hörbar, afficiren aber das Ohr gleichzeitig mit den erzeugenden, namentlich wenn die lezteren lange gehalten werden, in welchem Falle die Künstler den Ausdruck gebrauchen, daſs die Töne sich schlagen. Nehmen wir z. B. die oben genannten Töne c; g; $\bar{c}$; $\bar{e}$, so haben diese in gleichen Zeitintervallen 2; 3; 4; 5 Schwingungen, und es fallen sonach die 2te; 3te; 4te; und 5te von ihnen in demjenigen Zeitintervalle zusammen, welches für sich bestehend C geben würde. Dürfte man diesemnach annehmen, daſs die Töne vollkommen rein wären, um ein absolut genaues Zusammenfallen zu erzeugen, daſs ferner die Stärke des Eindruckes der zusammenfallenden Schwingungen auf das Ohr der Menge derjenigen, welche gleichzeitig das Ohr treffen, proportional wäre, und der Gehörnerv bei diesen stärkeren Affectionen gegen die zwischenfallenden einzelnen (also so viel schwächeren) unempfindlich würde, und sie also gar nicht wahrnähme, so müſste man statt jener 4 Töne nur den einzigen Ton C hören. Vogler wollte dieses praktisch anwenden, und zur Ersparung der groſsen Orgelpfeifen durch zwei combinirte Töne die tieferen erzeugen. Man sieht indeſs bald, daſs die erforderlichen Bedingungen unmöglich in gehöriger Schärfe gegeben seyn können [1]).

§. 61.

Unter die tönenden Körper gehört vorzugsweise

[1]) S. Vieth in Gilb. Ann. XXI. p. 265. ff.

die Luft und die ganze Classe der expansibelen Flüssigkeit, wenn sie auf irgend eine Weise in eigenthümliche schwingende Bewegungen gesetzt werden. Daſs durch bloſse Bewegung derselben weder im freien noch im begrenzten Raume kein Ton hervorgebracht werde, ist erwiesen, die eigentliche Beschaffenheit der den Ton gebenden Vibrationen aber noch keineswegs völlig bekannt. Oft setzt die schwingende Luft auch feste Körper in Schwingungen, und wird durch diese in correspondirende Vibrationen versetzt, wie namentlich bei den Zungenregistern der Orgeln und der sogenannten Mundharmonica.

Daſs alle in regelmäſsigen Intervallen folgende Pulsus einen Ton geben, folgt schon aus den vorhergehenden Betrachtungen, und läſst sich dadurch anschaulich machen, wenn man mit einem harten Körper schnell über einen andern mit regelmäſsigen Erhabenheiten versehenen hinfährt, z. B. mit einem Schlüssel über die Querfibern eines tannenen Brettes. Ist diese Bewegung langsam, so hört man bloſs einzelne Stöſse (ein Geräusch), bei zunehmender Geschwindigkeit wächst die Höhe des almählig zum Vorschein kommenden (nicht wohlklingenden) Tones. Hieraus erklären sich die schreienden Töne beim Schaben insbesondere metallener Flächen, beim Hinfahren der Messer über einen Teller, der Rechenstifte über Schiefertafeln, das Schreien nicht geschmierter Räderzapfen u. s. w. In Beziehung auf die Pulsus der Luft wird dieses anschaulich gemacht durch die von Caignard-La-Tour erfundene *Sirene* [1]). Sie besteht aus einer Scheibe mit einem Loche, aus welchem stets Luft bläst, und über welcher eine andere concentrische Scheibe schnell gedrehet wird. In der lezteren befinden sich mehrere Löcher, welche mit dem Loche der unteren Scheibe zusammenfallen, indeſs die zwischen liegenden Theile dasselbe verschlieſsen. Wird also die obere Scheibe schnell umgedrehet, so wird der Luftstrom in regelmäſsigen Zwischenräumen unterbrochen, und die einzelnen Pulsus geben nach ihrer verschiedenen Geschwindigkeit tiefere oder höhere Töne.

---

1) Biot Precis élém. de Phys. I. p. 442.

Die Luft kommt schon dann zum Tönen, wenn sie durch eine enge elastische Oeffnung entweicht, wie sich am einfachsten, aber zugleich auf eine sehr merkwürdige Weise beim Pfeifen mit dem Munde zeigt, bei welcher Tonbildung die Elasticität der Lippen nothwendige Bedingung ist, indem andere bloſse Oeffnungen keinen Ton geben. Luftsäulen, welche in Canälen eingeschlossen sind, werden in tönende Schwingungen versetzt, wenn ein schneller Luftstrom aus einer engen Oeffnung gegen sie stoſst (Horn, Trompete, Posaune), oder wenn ein gegen eine schräge Fläche gerichteter Luftstrom sie lothrecht trifft (Travers-Flöten aller Art), oder wenn der Luftstrom zwischen vibrirenden Blättern durchgepreſst wird (Rohr-Instrumente, Oboe, Fagott, Clarinette), wobei es fraglich ist, ob bei diesen nicht das Vibriren der Blätter zugleich als Ursache mitwirkt. Die Tiefe des erzeugten Tones ist der Länge der schwingenden Luftsäule proportional, ohne daſs die Dicke derselben einen bedeutenden Unterschied macht, welches jedoch bloſs bei überall gleich dicken als Regel gelten kann. Jedoch muſs der Reinheit, Stärke und Schönheit des Tones wegen ein gewisses Verhältniſs zwischen der Länge und der Dicke stattfinden. Jede offene Pfeife hat in der Mitte einen Schwingungsknoten und also zwei Schwingungsbogen; wird sie oben bedeckt, so fällt der Schwingungsknoten weg, und sie tönt eine Octave tiefer. Daſs dieses so seyn müsse, haben D. Bernoulli [1]) und Lagrange [2]) durch theoresche Gründe zu beweisen gesucht. Die gedeckten Pfeifen geben dasjenige Register der Orgeln, welches unter dem Namen *Gedact* bekannt ist, dessen Pfeifen daher durch einen mit Leder überzogenen Stopfer gestimmt werden. Savart macht den Schwingungsknoten durch ein feines, in einen Ring gespanntes Häutchen sichtbar, welches mit Sande bestreuet an einem Faden horizontal hängend in die Pfeife hinabgelassen wird, Wheatstone die Schwingungen dadurch, daſs er das offene Ende des Blaseinstrumentes ein wenig in Wasser eintaucht [3]).

Die Schwingungen der tönenden Luftsäulen sind ohne Zweifel longitudinale, bei deren Vorstellung man nicht übersehen darf, daſs die Luftsäulen Schwingungsknoten haben, welche in beträchtlichen Entfernungen von einander

---

1) Mém. de Berlin. 1753.

2) Misc. Taur. II. 157.

3) S. Ann. de Ch. et de Ph. XXIII. 316.

abstehen. Hiernach mufs man annehmen, dafs die wellenartigen Bewegungen der Luft bei jeder Oscillation zwischen beiden Schwingungsknoten hin und hergehen. Nach Chladni's Bestimmungen hat eine 32füfsige Orgelpfeife 32 Schwingungen in einer Secunde. §. 59. Die Pfeife, eine offene, hat aber in der Mitte einen Schwingungsknoten, und die Länge der Longitudinalschwingung beträgt also 16 F., welche sich in 1 Sec. 32 mal hin und her bewegt. Der ganze zurückgelegte Raum in dieser Zeit beträgt also $2 \times 16 \times 32 = 1024$ F., welches mit der Geschwindigkeit des fortgepflanzten Schalles sehr genau übereinkommt. Eine gedeckte Pfeife würde demnach für eine Schwingung in einer Secunde nur 512 F. Länge bedürfen. Bei manchen Arten des Getöses, z. B. dem Donner, dem Knalle des explodirenden Geschützes u. s. w. werden Schallwellen in der unbegrenzten Luft erzeugt, wofür man eine Pfeife von unendlicher Weite substituiren kann, in welcher eben deswegen aber kein regelmäfsig klingender Ton möglich ist. Aehnlich ist das Knallen der Peitschen, das Stürzen der Luft in den leeren Raum u dgl. Erhält das, die Luftsäule einschliefsende Rohr ein Loch, aus welchem die Luft frei entweichen kann, so tritt sie hierdurch mit der äufseren in Verbindung, und der in ihrer Mitte befindliche Schwingungsknoten rückt weiter weg, die Länge zwischen zwei Knoten wird kürzer, also der Ton höher, wie bei Flöten u. s. w. Da eine gedeckte Pfeife eine Octave tiefer wird, so läfst sich der Ton dadurch tiefer machen, wenn man eine Pfeife zum Theil bedeckt. Hierauf beruhet die Erzeugung der sogenannten Stopftöne der Hornisten, indem sie mit der Hand oder mit einem Kegel die Trichteröffnung des Instruments zum Theil verstopfen.

Unter die interessantesten tönenden Apparate gehört die sogenannte *chemische Harmonica*, welche Higgins zuerst aufgefunden zu haben scheint [1]), de Lüc aber in Deutschland bekannt machte. Sie besteht aus dem Tone derjenigen Flammen, welche das Sauerstoffgas begierig und in grofser Menge verzehren, wenn sie in einer langen offenen oder kurzen oben verschlossenen Röhre oder in einem Kolben, einer weiten Flasche, selbst in metallenen oder sogar hölzernen und papiernen Röhren brennen. Am bequemsten und leichtesten erhält man sie, wenn man Wasserstoffgas, welches mit mäfsiger Geschwindigkeit aus 2 Lin. weiten,

1) Nicholson's Journ. of Nat. Phil. N. Ser. I. 129. IV. 33.

oben bis 0,5 Lin. zugespitzten Glasröhren, oder einer erdenen Pfeifenröhre strömt, anzündet, über die 1 bis 2 Zoll lange Flamme (das *lumen Philosophorum*) eine etwas große gläserne Vorlage ein bis etliche Zoll tief herabsenkt, und mit der Hand ruhig hält, worauf dann bald ein der Weite und Länge dieser Vorlage (des gläsernen Kolbens) proportional tieferer Ton zum Vorschein kommt. Daſs der Ton durch die Schwingungen der hierin enthaltenen Luftsäule erzeugt werde, folgt aus der Gleichheit desselben mit demjenigen, welcher hörbar wird, wenn man in die Gefäſse hineinbläst, und ohne Zweifel sind die kleinen, in sehr kurzen Intervallen erfolgenden Explosionen des verbrennenden Wasserstoffgases die unmittelbare Ursache desselben. Die Röhren erzeugen den Schall nicht, obgleich sie gleichfalls beben, welches indeſs unter das Mittönen gehört [1]). Der Vorschlag, diese Töne zur Construction eines musikalischen Instrumentes zu benutzen, ist wohl schwerlich ausführbar [2]).

Das summende Geräusch einiger Insecten beim Fliegen und den hohen pfeifenden Ton bei andern leiten einige vom Flügelschlage ab, weil der Ton almählig abnehmen soll, wenn man die Flügel verkürzt. Daſs leichte Deckel durch den Widerstand der Luft ein diesem ähnliches Geräusch hervorbringen können, sieht man leicht bei Brettchen (Linealen), welche an einem Faden festgebunden in der Luft schnell umgeschwungen werden. Chabrier [3]) hat indeſs bei verschiedenen Insecten die Organe am Thorax nachgewiesen, von denen einige als kleine Oeffnungen in einer convexen Membrane erscheinen und mit freischwingenden Schuppen versehen sind. Der Ton entsteht dann durch Ausströmen der Luft aus diesen Oeffnungen, und ohne Zweifel zugleich durch die Schwingungen der feinen Schuppe, welche als Deckel auf ihnen liegt. Bei Maikäfern ist dieses Organ zwischen den beiden Flügelsectoren nahe am Gelenke derselben sichtbar.

Hiernach gehörte der Ton unter diejenigen, welche durch regelmäſsig schwingende Bleche und die durch sie in correspondirende Schwingungen versetzte Luft hervorgebracht werden. Schon L. Euler hat hierüber Untersuchungen angestellt, vollständigere später W. Weber [4]).

---

[1]) Chladni N. Schr. der Ges. Naturf. Fr. I. p. 102.

[2]) Zenneck in Schweigg. Journ. XIV. 1.

[3]) Mém. du Mus. d'Hist. Nat. VI. 447. ff.

[4]) Leges oscillationis cet. Dissert. phys. quam publ. def. W. Weber. Halae 1827. 4.

Sind schmale, lange und dünne Blättchen, insbesondere metallische, an einem Ende unbeweglich befestigt, und werden sie in Schwingungen versetzt, so geben sie einen Ton, dessen Höhe ihrer Dicke directe, ihrer Länge und Breite aber umgekehrt proportional ist. Schwingt dasselbe dann über einer seiner Gröfse genau gleichen Oeffnung, durch welche die Luft mit bedeutender Geschwindigkeit strömt, so geräth es hierdurch in Schwingungen, deren Zahl durch die angegebenen Bedingungen bestimmt wird; allein der Luft werden eben diese Pulsus mitgetheilt, auch diese schwingt mit dem Bleche isochronisch, und erzeugt also den nämlichen Ton, welcher dann hell und vernehmlich zum Vorschein kommt, statt dafs der durch das Blech allein erzeugte kaum hörbar ist. In dieser Form erhält man dasjenige Instrument, welches neuerdings unter dem Namen der Mundharmonica bekannt geworden ist. Verbindet man dasselbe (ein Blatt über einer einzigen Oeffnung) mit einer in einem längeren Rohre eingeschlossenen Luftsäule, so bedingen die dem Bleche und der Luftsäule zugehörigen Schwingungen einander in der Art, dafs sie gleichzeitig werden, wobei jedoch das Blech in der Regel das Bedingende ist. Von dieser Art sind die sogenannten Register mit einschlagenden Zungen bei den Orgeln. Auch die allgemein bekannten sogenannten Maultrommeln, welche einiger Vervollkommnung fähig sind, und gleichfalls mit dem Namen Mundharmonica belegt werden, gehören unter diese Classe von Instrumenten. Die stählerne Zunge in denselben ist nämlich das vibrirende Blech, dessen Schwingungen dadurch eine Verstärkung erhalten, dafs man die beiden Schenkel zwischen den Zähnen festhält. Die Luft in der ungleich erweiterten Mundhöhle wird dann durch die Schwingungen jener stählernen Zunge zum Tönen gebracht, und Wheatstone [1]) hat gezeigt, auf welche Weise durch das Zusammenfallen verhältnifsmäfsiger Schwingungen die Töne entstehen müssen.

Eine unmittelbare Anwendung dieser Gesetze giebt ein Instrument, *Gènder* genannt, welches Stamford Raffles jüngsthin aus Ostindien mitgebracht hat. Die tönenden Körper sind Metallscheiben, welche in horizontaler Lage auf zwei durch je zwei in ihren Schwingungsknoten befindliche Löcher gezogenen Schnüren gereihet werden. Unter ihnen lothrecht aufgerichtet stehen Bambusrohre, mit einer

[1]) Quarterly Journ. of Sc. N. F. N. V. I. 175. Schweigg. Journ. LIII. 328.

dem zu erzeugenden Tone proportional langen Luftsäule, welche durch einen verschiebbaren Stopfer die gehörige Stimmung erhält. Sind diese Röhren bedeckt, so giebt die Metallscheibe, wenn sie mit einem Klöppel geschlagen wird, einen hohen nicht lauten Ton, sind jene aber offen, so entsteht ein tiefer vernehmlicher Ton, weil dann die eingeschlossene Luftsäule durch die Schwingungen des Bleches zum Tönen gebracht wird [1]).

Das künstlichste, vollendetste und angenehmste tönende Werkzeug ist das Organ der menschlichen Stimme, welche auf keine Weise unter die Classe der schwingenden Saiten oder Membranen zu zählen ist, sondern auf jeden Fall zu den der tönenden Luftsäule gehört. Meistens wird die Stimme dann unter die Rohrwerkzeuge (Instrument à anche) gerechnet, d. h. die zwischen den Bändern der Stimmritze strömende Luft wird in ähnliche Schwingungen versetzt, als bei der Oboe und andern Rohrinstrumenten [2]); Weber dagegen glaubt, sie entstehe auf gleiche Weise, als der Ton beim Pfeifen mit dem Munde. Beide Meinungen würden dann zusammenfallen, wenn man zur Entstehung des zulezt genannten Tones die Bebungen der elastischen Lippen als wesentlich bedingend betrachten wollte, indem es wohl nicht zu bestreiten ist, dafs die Stimmbänder beim Reden und Singen in schwingende Bewegungen versetzt werden. Das Merkwürdigste dabei ist, dafs ein so kurzer Apparat so starke Töne und von solchem Umfange der Höhe und Tiefe geben kann, welcher in seltenen Fällen über zwei Octaven hinausgeht. Um dieses begreiflich zu finden, mufs man berücksichtigen, dafs zwar Kehlkopf und Stimmritze die wesentlichsten, zur Erzeugung der Töne erforderlichen Stücke sind, dafs aber zugleich Kehldeckel, Gaumsegel, die Wölbung des Mundes, die Zähne und Lippen als bedingend hinzukommen. Die Bänder der Stimmritze werden nämlich durch eigene Muskeln der Knorpel des Kehlkopfes mehr oder weniger gespannt und genähert, welches die Höhe des Tones bedingt. Wenn diese Bänder nicht gespannt sind, und die Luft frei hindurchströmt, wie beim Athmen, so ist kein Ton vorhanden. Wird die Luft mit grofser Gewalt hindurchgestofsen, ohne dafs die Bänder regelmäfsig gespannt sind, wie beim Husten, Räuspern u. s. w., so entsteht ein Laut ohne eigentlichen Ton. Weibliche Personen und Kinder

---

[1]) S. Wheatstone a. a. O.

[2]) S. Biot Traité II. p. 110 ff.

haben höhere Stimmen, weil ihr Kehlkopf kleiner ist, ihre Kehlbänder kürzer sind, und ihre Stimmritze enger ist. Bei Männern vergröfsert sich in den Jahren der Pubertät der Kehlkopf, die Stimmbänder werden beinahe um das doppelte länger, und daher rührt das Brechen der Stimme. Von der Stärke der Kehlbänder und des Kehlkopfes, von der Gröfse und Stärke der Respirationswerkzeuge hängt die Stärke der Stimme ab, ihre Annehmlichkeit beruhet auf der gehörigen Proportion der verschiedenen Organe, ihrer Glätte, Biegsamkeit, Beweglichkeit, Schlüpfrigkeit u. s. w., weswegen die Stimmen junger Personen meistens die angenehmsten sind, und mit dem zunehmenden Alter von ihrer Schönheit verlieren. Fehler in den Organen, krankhafte Anschwellungen und sonstige Abweichungen vom regelmäfsigen Baue erzeugen Fehler in der Sprache und Stimme, z. B. das Näseln, das Brechen der Stimme, Rauhheit derselben u. s. w.

Aufser den Menschen haben blofs die Säugethiere, Vögel und Amphibien eine Stimme, unter denen die der Vögel die angenehmste und verhältnifsmäfsig stärkste ist, ohne an Umfang und Modulation mit der menschlichen wetteifern zu können. Die Stimmorgane der Vögel unterscheiden sich wesentlich dadurch, dafs die Stimmritze nicht am oberen, sondern am unteren Ende der Luftröhre sitzt, dafs ihre verhältnifsmäfsig sehr lange Luftröhre einer gröfseren Verlängerung und Verkürzung fähig ist, dafs aufser der Stimmritze auch die obere Oeffnung willkührlich erweitert und verengert werden kann, und dafs sie verschiedenförmig gestaltet ist, walzenförmig, trichterförmig erweitert u. s. w. [1]). Durch eine eigene Sprachmaschine hat H. v. Kempelen versucht, die menschliche Stimme nachzumachen, jedoch mit nicht besserem Erfolge, als dieses von andern geschehen ist [2]).

Die Expansibilien müfsten der Theorie nach Töne geben, deren Höhe den Quadratwurzeln ihrer Dichtigkeiten

---

[1]) S. Ferrein in Mém. de l'Acad. 1741. p. 489, wo sich die sämmtliche ältere Literatur befindet. Vergl. Young in Gilb. Ann. XXII. 249 u. 337. und vorzüglich die Anmerk. Vieth's daselbst. Sömmerring vom Baue d. menschl. Körpers. V. Abt. 2. Dessen Abbild. der menschl. Geschmacks- und Sprachorgane. Frankf. 1805. Savart in Ann. de Chim. et Phys. XXX. p. 64. Ueber die Stimmen d. Animalien S. Cuvier Leçons d'anatomie comparée. t. IV. Ueber die Stimmwerkzeuge der Vögel derselbe in Journ. de Phys. L. 426.

[2]) S. dessen: Mechanismus der menschl. Sprache nebst Beschreibung einer sprechenden Maschine. Wien 1791.

umgekehrt proportional wäre, welches auch in sofern richtig ist, als das Wasserstoffgas die höchsten Töne giebt, doch scheint das Gesetz in seiner ganzen Schärfe nicht anwendbar. Poisson und Biot haben hierüber gehaltreiche Untersuchungen angestellt [1]). Hierin liegt übrigens der Grund, dafs Blase-Instrumente in kalter Luft tiefer tönen, als in warmer, und mit dem Munde geblasen höher als mit einem Blasebalge, weil im ersteren Falle die Luft nicht blofs wärmer, sondern auch mit leichterem Wasserdampfe angefüllt ist. Uebrigens geben nicht blofs die Schallwellen der atmosphärischen Luft, sondern auch anderer Gasarten und selbst der Dämpfe Töne, wie man erkennt, wenn man dieselben in eine Pfeife blasen läfs; jedoch sind die durch sie erhaltenen Töne bei denselben Pfeifen nicht gleich hoch, sondern ihre Höhe steigt im Verhältnifs ihrer geringeren Dichtigkeit.

§. 62.

Jeder Ton im Verhältnifs zu andern heifst Tonica, zur Harmonie, Grundton. Ihm am nächsten kommt derjenige, dessen Schwingungen halb oder auch doppelt so viel sind. Zwischen beiden liegt eine unbestimmbare Menge anderer Töne, deren Zahl nach den verschiedenen Tonsystemen verschieden ist. Das Verhältnifs der Tonica zu jedem andern Tone heifst ein Intervall, welches in Folge seiner Rationalität harmonirend oder disharmonirend ist; die Verbindungen und Folgen mehrerer Intervalle aber geben die Tonstücke, bei deren Untersuchung die physich-mathematische Akustik an die ästhetische Tonkunst grenzt.

Unter den verschiedenen Tonsystemen verdient das griechische, welches durch die Quarte und Quinte die viersaitige, und durch die Ausdehnung derselben auf zwei Octaven die siebensaitige Leier bildete, einige Erwähnung. Minder wichtig sind neuere Tonsysteme, z. B. der Indier, deren Grama oder Tonleitern die Octave in 25 Intervalle theilen [2]). Nach unserm heutigen Tonsysteme liegen zwi-

[1]) S. Ann. de Chim. et de Phys. VII. p. 288. X. p. 129.

[2]) Asiatik Researches IX. n. IX. Forkel Geschichte d. Tonkunst.

schen jeder Tonica und ihrer Octave 11 Intervalle, welche nach dem Baue der Tasteninstrumente uneigentlich in 6 ganze und 5 halbe Töne getheilt werden. Zwischen jedem ganzen Tone kann das Ohr noch 9 sogenannte Kommata unterscheiden. Weil aber diese Töne für jede andere Tonica ein anderes Verhältniſs erhalten, so müssen sie hiernach verschieden temperirt werden, welches bei der menschlichen Stimme und einigen Instrumenten in voller Schärfe, bei andern aber, namentlich bei den Tasten-Instrumenten durch Substituirung der mittleren (Kirnbergerschen) statt der gleichschwebenden Temperatur hervorgebracht wird. Es sind z. B.

	Saitenlängen gleichschweb. Temperatur.	Saitenlängen Kirnberg. Temp.	Schwingungen gleichschweb. Temp.	Schwingungen Kirnberg. Temp.
C	1,0000	1,0000	128,0	128.0
cis	0,9438	0,9492	135,6	134.8
d	0,8909	0,8889	143,6	144,0
dis	0,8409	0,8437	152,2	151,7
e	0,7937	c,8000	161,2	160,0
f	0,7491	0,7500	170,8	170,6
fis	0,7071	0,7111	181,0	180,0
g	0,6674	0,6667	191,8	192,0
gis	0,6300	0,6328	203,1	202,2
a	0,5946	0,5963	215,2	214,6
b	0,5612	0,5625	228,0	227,5
h	0,5297	0,5313	241,1	240,9
c	0,5000	0,5000	256,0	259,0

Eine einfache Berechnung erläutert dieses, wenn man nur bei den sogenannten ganzen Tönen stehen bleibt. Heiſst die Anzahl der Schwingungen, welche z. B. C giebt $= 1$, so erhält man für D $= {}^9/_8$; für E $= {}^5/_4$; für F $= {}^4/_3$; für G $= {}^3/_2$; für A $= {}^5/_3$. Fängt man auf gleiche Weise mit D als Einheit an, so müſste D : E $= {}^9/_8 : {}^5/_4 = 1 : {}^9/_8$ seyn, ist aber $= 1 : {}^{10}/_9$; eben so D : F $= {}^9/_8 : {}^4/_3 = 1 : {}^5/_4$; es ist aber $= {}^{32}/_{27}$; es müſste D : A = C : G $= {}^9/_8 : {}^5/_3 = {}^3/_2 : 1$ seyn, ist statt dessen aber $= {}^{40}/_{27}$, welches eine Differenz $= {}^1/_{54}$ giebt. Hieraus wird klar, warum jedes Instrument mit feststehenden Tönen, wenn es nach einem beliebigen Grundtone völlig rein gestimmt ist, aus allen übrigen Tönen falsch seyn müſste, und der Grund dieses unabänderlichen Miſsverhältnisses liegt darin, weil es zwischen dem Grundverhältnisse $= 1 : 2$ keine in gleichem Verhältnisse zu einander stehende Abtheilungen giebt. Aus

diesem Grunde werden solche Instrumente nie aus einer einzigen Tonart rein gestimmt, sondern man gleicht die verschiedenen Quinten so gegeneinander aus, dafs die Unterschiede allseitig gleichmäfsig vertheilt werden, und daher bei den einzelnen Tönen nicht merklich bleiben.

§. 63.

Aufser der Höhe und Tiefe der Töne, deren Grund hiermit genügend nachgewiesen ist, vermag das Ohr noch eine gewisse Individualität der Töne zu unterscheiden, deren Ursache in der Gesammtwirkung derjenigen Schwingungen zu liegen scheint, in welche der eigentlich tönende Körper und andere mit ihm verbundene gesetzt werden. Auf einem ähnlichen Grunde beruhet das Mittönen und das Zittern selbst der gröfsten Massen durch den Schall, welches der Stärke desselben direct proportional ist.

Nach den bisherigen Untersuchungen ist die Höhe und Tiefe der Töne blofs durch die Anzahl der Schwingungen bedingt. Diesemnach müfsten alle gleich hohe Töne einander vollkommen gleich seyn, allein die zahlreichsten Erfahrungen führen auf eine merkliche Verschiedenheit gleich hoher, auf verschiedenen Instrumenten erzeugter Töne. Obgleich z. B. die Höhe und Tiefe verschiedener gespannter Saiten ganz gleich ist, so unterscheidet man doch die Art der Töne sehr merklich, jenachdem nur der Bau der Instrumente verschieden ist. Flöten von Buchsbaum mit elfenbeinernen Embouchüren klingen anders als elfenbeinerne, auch ist bei gleichem Baue und bei gleicher Bohrung der Ton der Rohr-Instrumente nach Verschiedenheit des Holzes verschieden, ja sie verändern den Ton, wenn sie mit Fäden oder mit Band umwickelt werden.

Diese auf sehr bekannten Erfahrungen beruhenden Schlüsse hat Savart [1]) durch eine Reihe sehr interessanter Versuche auf bestimmte Gesetze zurückgebracht, Chladni [2]) aber zeigte später dafs ihm die ganze Sache bei seinen akustischen Untersuchungen keineswegs entgangen war. Es scheint übrigens am angemessensten, wie schon oben (§. 58)

[1]) Ann. de Chim. et de Phys. XIV. 113. Gilb. Ann. LXVIII. 113.
[2]) Ann. Chim. et Phys. XX. 74.

bemerkt ist, diese Eigenthümlichkeit der Töne durch den Ausdruck *Klang* zu bezeichnen.

Savart wünschte zu ergründen, warum manche alte Geigen einen so vorzüglichen Ton haben, weit schöner als solche, die in allen Stücken auf das Genaueste nach ihnen verfertigt sind, und er fand auf, dafs erstlich alle mit einem tönenden Körper verbundene Massen zugleich in correspondirende Schwingungen versetzt werden, also den eigentlichen Ton mit bedingen, und zweitens dafs die Fibern der zum Klingen disponirten Körper leichter und regelmäfsiger schwingen, je öfter sie schon in diese bestimmten Schwingungen versetzt sind, worauf also das sogenannte *Ausspielen* der Instrumente beruhet. Beim weiteren Verfolgen dieses Gegenstandes fand Savart den allgemeinen Satz auf: wenn zwei Körper mit einander verbunden sind, und einer derselben wird in transversale Schwingungen versetzt, so geräth der andere in longitudinale und umgekehrt. Für zwei Körper kann dieses auf eine interessante Weise sichtbar gemacht werden durch Glasröhren, auf deren eines Ende man vermittelst etwas Siegellack oder Harzkitt Scheiben von Glas, Holz, Elfenbein, Zink, Messing nnd sogar Blei kittet, wobei es merkwürdig ist, dafs das so sehr unelastische Blei in dünnen, selbst aus Tabacksblei geschnittenen Scheiben so deutliche Schwingungen zeigt. Die gemeinen Glasröhren können die Länge von drei, vier oder mehreren Fufs haben, die Scheiben, gleichviel ob rund oder eckig, einen Durchmesser von 1,5 bis höchstens 3 Zollen, und dürfen nicht zu dick seyn. Wird dann die Röhre lothrecht gehalten, so dafs die Ebene der Scheibe horizontal ist, und die Fläche der lezteren mit feinem Sande bestreuet, dann die Röhre auf die oben §. 60. beschriebene Weise mit einem wollenen Läppchen gestrichen, so dafs sie einen Längenton giebt, so zeigt der Sand die den transversalen Schwingungen der Scheibe zugehörige Figur. Zuweilen kann man hierbei durch Veränderung des Punctes, wo man die Röhre anfafst, einen zweiten verschiedenen Ton, und somit eine andere Figur auf der Scheibe hervorbringen. Wird die Röhre stark gerieben und ist die Scheibe etwas dick, so springt leztere mit grofser Kraft ab, woraus sich auf die eigenthümliche Beschaffenheit der longitudinalen Schwingungen schliefsen läfst. Auch für mehrere vereinte Körper, namentlich Glasscheiben, hat Savart dieses nachgewiesen, indem er auf eine etwas längere und schmale Glasscheibe eine kürzere lothrecht aufkittete, auf diese wieder eine horizontale, und

mit diesem nämlichen Wechsel drei bis sechsmal fortführ. Wurde dann die untere Glasscheibe durch Streichen in transversale Schwingungen versetzt, so zeigten die ihr parallelen durch die erzeugten Figuren gleichfalls solche, und umgekehrt. Dafs auf diesem Principe auch die Wirkung der Resonanzböden beruhe, ergiebt sich ganz einfach, wenn man eine frei gehaltene Stimmgabel, welche mit einem harten Körper geschlagen einen kaum hörbaren Ton giebt, mit ihrem Stiele auf eine Geige stützt, und einen sehr vernehmbaren, meistens sehr schön klingenden Ton wahrnimmt. Setzt man eine geeignete, etwas starke Glasröhre auf den mit Sand bestreuten Resonanzboden eines Monochordes, und streicht sie mit einem wollenen Läppchen, so ordnet sich der Sand in Figuren, welche die Knotenlinien transversaler Schwingungen bezeichnen.

Als diese Gesetze bekannt geworden waren, bewies Chladni seine frühere Kenntnifs derselben, denn darauf beruhet die Construction seiner bis dahin geheim gehaltenen Instrumente. Zuerst zeigte derselbe das Euphon, einen länglicht vierkantigen Kasten, worin man blofs eine Claviatur aus weifsen und schwarzen Glasstäben sah, welche mit nassen Fingern gestrichen einen der Stimmgabel ähnlichen Ton gaben. Nachher verwandelte derselbe diese Claviatur in eine mit gemeinen beweglichen Tasten, und zugleich sah man eine vermittelst eines Schwungrades, Würtels und Fufstrittes um ihre Axe gedrehete Walze aus hohlen Glascylindern, welche auf einem hölzernen mit wollenem Zeuge belegten Dorn gesteckt waren, und beim Gebrauche mit einem Schwamme benetzt wurden. Chladni nannte dieses Instrument *Clavicylinder*, und die den Ton erzeugende Walze die *Streichwalze*, zeigte auch endlich den so lange geheim gehaltenen Bau desselben. Die eigentlichen tönenden Körper sind nämlich Metallstäbe, an denen entweder die Streichwalze unmittelbar reibt, und sie in transversale Schwingungen versetzt, so dafs sie einen durch transversale Schwingungen erzeugten, dem der Stimmgabel ähnlichen, Ton geben, oder welche in zwei Schwingungsknoten festgebunden in der Mitte einen lothrecht auf ihre Längenaxe befestigten Stab tragen, dessen anderes umgebogenes Ende mit etwas Filz überzogen ist, und durch die Taste gegen die Streichwalze gedrückt wird, so dafs derselbe in longitudinale Schwingungen versetzt, transversale in dem Stabe erzeugt. Statt des Filzes kann man auch Leder nehmen und statt die Streichwalze zu benetzen, dieses Leder mit

etwas Colophonium bestreuen, in welchem Falle die Walze von Holz oder besser von Messing seyn mufs [1]).

Obgleich das ursprüngliche Instrument geheim gehalten wurde, so erspäheten doch verschiedene Künstler, welche einzelne Theile dazu verfertigt hatten, das Geheimnifs, und machten es nach. Dieses geschah durch Dietz, welcher runde Stahlstäbe zu seinem *Paumelodion* wählte, durch einen italienischen Künstler, dessen aus Messingstäben construirter Clavicylinder von dem Violinisten Creuzer gezeigt wurde, durch Buschmann im *Terpodion*, durch Kaufmann im *Harmonichord* und durch Maslosky im *Coelison*. Die beiden lezteren Instrumente bestehen aus flügelförmigen, mit Saiten bezogenen, dem Forte-Piano ganz gleichen, nur aufwärts gerichteten Körpern und werden beim Harmonichord die Saiten durch die Streichwalze, beim Coelison aber durch Fischbeinstäbe zum Tönen gebracht, welche mit ledernen, durch Colophoniumpulver klebrigen, Handschuhen gerieben die Schwingungen der Saiten erzeugen; das Terpodion ist unter allen das schönste, verdiente in seinem Baue gekannt und vervielfacht zu werden, weil es mit der Annehmlichkeit des Tones grofse Stärke, Biegsamkeit, ein leichtes Ansprechen der Töne und Kleinheit verbindet, zugleich aber, wie alle diese Instrumente, seine Stimmung unveränderlich behält [2]).

Nicht blofs feste Körper, welche miteinander in unmittelbarer Verbindung sind, erzeugen in sich wechselseitig die verschiedenen Schallschwingungen, sondern leztere werden auch durch die Luft fortgepflanzt und den festen Körpern mitgetheilt. Diese Erscheinungen gehören unter das sogenannte Mittönen. Wird auf einem rein gestimmten Forte-Piano eine Saite angeschlagen, so hört man diejenigen mittönen, welche den harmonischen Dreiklang bilden, und die Bebungen der lezteren sind so stark, dafs sie durch kleine papierne Reuterchen sichtbar werden. Streicht man auf einer Geige eine so gehaltene Saite an, dafs sie mit einer daneben befindlichen gleichtönt, und berührt leztere leise mit einem Finger, so bemerkt man ihr Tönen. Insbesondere werden Glasscheiben leicht zum Mittönen gebracht,

---

[1]) S. E. F. F. Chladni's Beiträge zur practischen Akustik und zur Lehre vom Instrumentenbau. Leipz. 1821. 8.

[2]) Ueber das Coelison s. Gilb Ann. XX. 128. Zufällig habe ich alle die genannten Instrumente selbst gesehen, und erzähle diesemnach als Augenzeuge.

so dafs man ein Klirren derselben wahrnimmt, wenn sie schräg gegen ein Fenster gelehnt sind. Aber selbst feste Mauern erbeben durch das Getöse des Donners und groben Geschützes, auch müssen die Wände, Meubeln und die Luftsäulen in Zimmern eine Disposition zum Mittönen bei individuellen Tönen haben, indem Chladni behauptet, dafs verschiedene Tonarten in einzelnen Zimmern vorzugsweise gut klingen. Savart hat auch diesen Satz, dafs feste Körper durch die Schallwellen der Luft zum Mittönen gebracht oder in Schwingungen versetzt werden, durch interessante Versuche zugleich bewiesen und anschaulich zu machen gelehrt. Wird nämlich feines und sehr elastisches Papier (am besten sogenanntes Strohpapier (papier végétal), oder eine feine Haut (Goldschlägerhaut, Schaafhäutchen) über ein dünnes und etwas weites Glas gespannt, und mit Sande bestreuet, dann über demselben vermittelst einer Glasscheibe oder einem Blaseinstrumente ein etwas heller Ton hervorgebracht, so ordnet sich der Sand in die bekannten Schallfiguren, welche bei Anwendungen von Scheiben nach ihrem Neigungswinkel gegen die ausgespannten Flächen verschieden werden [1]).

Auf das Mittönen haben schon Wallis und Mersenne aufmerksam gemacht, aber genau beschrieben ist es von Sauveur [2]). Die dadurch hervorgebrachte Erschütterung läfst sich bis zum Zerschmettern gläserner Gefäfse treiben [3]). Nachrichten hiervon finden sich schon im Talmud [4]). Die Bebungen grofser Massen müssen als verschwindend klein angenommen werden, weil sie selbst durch längeren Einflufs nicht zerstörend wirken.

2) Fortpflanzung des Schalles.

§. 64.

Die Schallwellen werden durch alle feste, flüssige und expansibele Körper vermittelst gewisser ihrer Natur nach bis jetzt noch unbekannter Pulsus fortgepflanzt,

---

1) Ann. de Chim. et de Phys. XXVI. 6.

2) Sistéme general d'Acoustique in Mém. de l'Ac. R. de Par. 1701. La Grange in Miscel. Taur. I. 109.

3) S. Morhof stentor hyaloclastes 1683

4) Baba Kama fol. 18. col. 2. nach Chladni Neue Beiträge p. 86.

und im Allgemeinen ist die Stärke und Geschwindigkeit dieser Fortpflanzung größser bei festen und tropfbar flüssigen Körpern, als bei den Expansibilien. Am wichtigsten ist es der vielfachen Untersuchungen und Anwendungen wegen das Gesetz der Fortpflanzung desselben durch atmosphärische Luft zu kennen, worin den genauesten Versuchen gemäfs seine Geschwindigkeit beim Gefrierpuncte des Thermometers 1022,2 p. F. in einer Secunde beträgt, und für jeden Grad der hunderttheiligen Skale um 1,926 F. vermehrt wird.

Dafs der Schall kein für sich bestehendes materielles Wesen (ens sui generis) sey, zeigt sein Aufhören im Vacuo, die stärkere Leitung durch dichtere Körper, so wie seine Verstärkung in comprimirter Luft [1]). In Wasserstoffgas unter einem Drucke von 28 Z. Barometerstand fand Leslie den Schall sehr schwach, und nicht stärker als in 100 mal verdünnter atmosphärischer. Er nimmt an, dafs die Stärke des Schalles in verschiedenen expansibelen Medien den Quadraten ihrer Dichtigkeit proportional sey, welches für das angewandte Wasserstoffgas 0,1 der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft geben würde [2]). Man hält meistens die Schwingungen der Körper, vermittelst deren der Schall fortgepflanzt wird, für ganz gleich mit denen, welche denselben hervorbringen. Ein Hauptbeweis hierfür läfst sich daraus hernehmen, dafs die Länge der Schallwellen in einer Pfeife und die Zeitdauer derselben mit der Entfernung zusammentrifft, bis auf welche der Schall in gleicher Zeit fortgepflanzt wird, §. 61; indefs darf der Satz nicht zu weit ausgedehnt werden, indem die Beschaffenheit der den Schall erzeugenden Körper die Tonhöhe bestimmt, bei der Fortpflanzung hierauf aber keinen Einflufs hat [3]). Die Fortpflanzung des Schalles scheint dem Fortgange des Stofses durch eine Reihe elastischer Kugeln ähnlich zu seyn. Vollkommen elastische und zugleich absolut dichte Media müfsten diesemnach den Schall ins Unendliche mit einer grofsen, theoretisch noch unbestimmten Geschwindigkeit fortpflanzen; im Uebrigen aber mufs die Vollkommenheit der Fortleitung

1) S. Hawksbee in Phil. Trans. XXV. 1803.
2) Ann. of Phil. 1822. Sept. p. 172.
3) Vergl. Gilb. Ann. XLVIII. 65.

durch die Qualität und durch die Art der Aggregation der Elemente aller Körper bestimmt werden [1].

Ueber die Geschwindigkeit des Schalles in den Expansibilien gelten unter den Geometern noch Newton's theoretische Untersuchungen [2]. Hiernach verhalten sich die Geschwindigkeiten der Schallwellen, wie die Quadratwurzeln aus der Elasticität dividirt durch die Dichtigkeit, oder $c' = c\sqrt{\frac{\varepsilon'\delta}{\varepsilon\delta'}}$, und wenn die Elasticitäten gleichgesetzt werden, so ist $c' = c\sqrt{\frac{\delta}{\delta'}}$, welches nach Chladni nicht vollkommen mit der Erfahrung übereinstimmt [3]. Eben dieses ergiebt sich aus den gehaltreichen Untersuchungen von Rees [4]. So wie nämlich Chladni folgerte, daſs die Länge der Schallwelle von 16 F., deren 32 auf 1 Sec. gehen, $2 \times 16 \times 32 =$ 1024 F. Weite für atmosphärische Luft gebe, berechnete Rees aus der Tonhöhe und der Länge einer Pfeife die Schallgeschwindigkeiten bei 0° Wärme für die verschiedenen Gasarten, und verglich sie mit denen aus der spec. Elasticität derselben gefundenen. Ist dann die Geschwindigkeit in atmosphärischer Luft bei 0° C. = 1024 F. oder 332,63 Meter, so ist sie in Metern

Namen der Gasarten	Geschwindigkeit nach Tonhöhe.	Elast.	Namen d. Gasarten	Geschwind. nach Tonh.	Elast.
Sauerstoffgas	316,6	317,7	Kohlenwass.g.	317,8	337,4
Stickgas	338,1	339,0	Schwefelwass.g.	318,7	305,7
Wasserstoffgas	914,2	1233,3	Schweflichts.g.	229,2	229,2
Kohlensäure	275,3	270,7	Salzs. Gas	309,3	298,8
Kohlenoxyd	316,9	341,1	Ammoniakg.	389,4	432,0
Stickst. Protox	281,4	270,6	Wasserdampf	369,6	422,6
Stickst. Deutox.	309,8	327,4	Alkohold.	289,1	262,7

[1]) S. Leslie a. a. O. Lagrange Misc. Taur. I. p. 89. sagt: Ce n'est donc pas par une espéce d'ondulation que le son se propage, comme l'ont cru jusqu'ici tous les physiciens d'aprés M. Newton. Inzwischen geschieht die Fortpflanzung des Schalles wohl unzweifelhaft durch wellenartige Bewegungen, denen ähnlich, welche seine Entstehung bewirken, wofür unter andern schon die Erscheinungen des Mittönens mit Sicherheit entscheiden.

[2]) Princ. II. Sect. VIII. prop. 47.

[3]) S. Biot Traité II. 181.

[4]) Diss. phys. math. inaug. de Celeritate soni per fluida el. propagati. Traj. ad Rhen. 1819.

Um die absolute Geschwindigkeit des Schalles zu bestimmen, zeigt Newton[1]), dafs nach der Natur wellenförmiger Bewegungen in Flüssigkeiten die Pulsus der Schallwellen in der nämlichen Zeit den Kreis durchlaufen, in welcher ein Pendel von der Länge des Durchmessers dieses Kreises einen ganzen Schwung vollendet, gleichmäfsige Dichtigkeit des Medii vorausgesetzt. Ist nun §. 34 für den einfachen Schwung eines Pendels $t = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{2L}{g}}$, so ist für einen ganzen Schwung $t = \pi \sqrt{\frac{2L}{g}}$. In der nämlichen Zeit durchläuft die Schallwelle den Raum $\pi\, 2\, L$, also ist für eine Secunde das Verhältnifs $2\pi L : \pi \sqrt{\frac{2L}{g}} = \sqrt{2\, L\, g}$. Es ist aber $\sqrt{2\, L\, g}$ der Geschwindigkeit gleich, welche der Fallhöhe $= \frac{1}{2} L$ zugehört (§. 28), mithin der Geschwindigkeit gleich, welche ein Körper durch den Fall von der halben Höhe der Atmosphäre bei gleicher Dichtigkeit erlangt hätte; und wenn man daher diese Höhe durch den Stand des Barometers $= B$ und das spec. Gew. des Quecksilbers zur elastischen Flüssigkeit $= p$ bestimmt, um hieraus den ganzen Raum zu finden, den der Schall in einer Secunde durchläuft, so ist dieser in atmosphärischer Luft bei gleicher Dichtigkeit $= \sqrt{2\, p\, B\, g}$. Nimmt man nach den gewöhnlichen Bestimmungen $p = 10463$; $B = 28$ Z. $g = 15{,}1$ F, so ist $c = \sqrt{2 \cdot 10463 \cdot 28 \cdot 181{,}2}$, Zoll $= 858{,}6$ Fufs. Den Unterschied dieser Gröfse von der durch Erfahrung gefundenen will Newton aus der gröfseren Elasticität der elementaren Bestandtheile der Luft erklären. Allein dieses ist unzulässig, theils weil die hinzukommende Gröfse zu klein ist (obgleich Newton $\frac{1}{9}$ annimmt, so läfst sich doch in Rücksicht auf das spec. Gew. der Luft nicht füglich mehr, als $\frac{1}{779{,}37}$ annehmen), theils weil ganz im Gegentheil durch Temperaturerhöhung, mithin durch gröfsere Entfernung der Elementartheile von einander, die Geschwindigkeit vermehrt wird. La Place dagegen nimmt an, die Pulsus der Schallwellen entbänden Wärme aus den Expansibilien, und würden dadurch beschleunigt[2]), welche Hypothese Biot deswegen für erwiesen hält, weil beim Fort-

---

[1]) Princ. II. 47. Vergl. La Grange Mem. de Berl. 1786. G. XLIV. 240. Miscel. Taur. II. 1 ff. 40 ff.

[2]) Ann. de Chim. et Phys. III. 238.

gehen des Schalles durch Dämpfe kein Theil derselben durch die Compression niedergeschlagen wird [1]).

Diese von La Place scharfsinnig erfundene Hypothese läfst sich auf folgende Weise deutlich machen [2]). Ist in metrischem Mafse die doppelte Länge des einfachen Secundenpendels (die doppelte Fallhöhe in 1 Sec.) nach de Borda = 9,80875 Meter; der Barometerstand 0,76 M.; das spec. Gew. des Quecksilbers = 10466,82, so wäre die Geschwindigkeit des Schalles in 1 Sec. $= \sqrt{9,80875 \times 0,76 \times 10466,82}$ = 279,331 Meter, = 860 F. Diese Geschwindigkeit bleibt bei jedem Luftdrucke gleich (weil die Barometerhöhen und spec. Gewichte der Luft einander umgekehrt proportional sind), mufs aber für die Ausdehnung der Luft durch Wärme corrigirt werden, und da die Geschwindigkeit den Quadratwurzeln der Dichtigkeiten proportional wächst, die Ausdehnung der Luft aber für 1° C. = 0,00375 ihres Volumens beträgt, so erhält man für 16° C. die Geschwindigkeit $c = 279,331 \sqrt{1 + 16 . 0,00375} = 287,59$ Met. oder = 885,12 Fufs. Die so gefundene Gröfse soll dann noch mit der Quadratwurzel aus dem Verhältnisse der spec. Wärme der Luft unter einem beständigen Drucke zu ihrer spec. Wärme bei gleichbleibendem Volumen §. 86 multiplicirt werden, welches durch Gay-Lüssac und Welter = 1,3748 aufgefunden ist. Hiernach erhält man $c = 287,59 \sqrt{1,3748} =$ 337,202 Met. oder 1038,2 F. bei 16° C., welche Gröfse dann noch für den Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre corrigirt werden mufs. Bei den nachher zu erwähnenden Versuchen in Paris setzt La Place bei 72° des Haarhygrometers hierfür noch 0,572 Meter, und erhält sonach 337,776 Meter, welches von der durch Erfahrung gefundenen Gröfse = 340,9 M. nur 3,1 M. abweicht.

So scharfsinnig auch diese Theorie ausgedacht ist, so läfst sich dennoch verschiedenes dagegen einwenden, welches wegen der bedeutenden, zu ihrer Empfehlung dienenden Autorität nicht verschwiegen werden darf. Zuvörderst nicht zu gedenken, dafs die Abweichung von der Erfahrung im Betrage von fast 0,01 des Ganzen immer noch beträchtlich ist, haben die französischen Geometer die Geschwindigkeit des Schalles kleiner und die relative Wärmecapacität der Luft gröfser gefunden, als andere höchst genaue Versuche

---

1) S. Poisson Journ. de l'ec. pol. cah. 14. Ann. de Chim. et Phys. XXII. 5. Biot J. d. ph. LV. Mém. de la Soc. d'Arcueil. II. 91.

2) Ann. de Chim. et de Phys. XX. p. 268.

beides angeben, und das aus der Theorie gefundene Resultat sollte also billig gröſser seyn, als das durch Erfahrung gegebene. Auſserdem aber ist allerdings richtig, daſs durch mechanische, mit Raumverminderung verbundene Compression der Gase Wärmeentwickelung verbunden ist (§. 86), allein solche findet bei den Schallwellen nicht statt, und wenn einige Beobachter bei heftigen Explosionen ein Gefühl von Wärme wahrgenommen haben wollen (falls dieses nicht Täuschung war), so läſst sich dieses aus der wirklichen Luftcompression bei so gewaltsamen Phänomenen leichter als aus der Wirkung der Schallwellen erklären. Fände eine wirkliche Ausscheidung der Wärme durch die Schallwellen statt, so würde die Luft hierdurch dichter und langsamer leitend werden. Es soll dieses indeſs nicht der Fall seyn, sondern die entbundene Wärme sogleich wieder absorbirt werden, um die Expansion der Luft wieder herzustellen, wonach man indeſs vermuthen sollte, daſs durch beide einander aufhebende Processe gar keine Wirkung hervorgebracht werden könnte.

Aehnliche Zweifel haben Benzenberg, Wrede und Prechtl [1]), Meikle [2]) und andere geäuſsert. Sonstige gehaltreiche theoretische Untersuchungen über die Geschwindigkeit des Schalles haben Poisson [3]), Trembley [4]), La Grange [5]) und Rees [6]) angestellt.

Es sind eine unglaubliche Menge Versuche gemacht, um die Geschwindigkeit der Schallbewegung in atmosphärischer Luft genau zu erforschen, indeſs haben alle ältere wegen mangelnder Genauigkeit zu wenig Werth, und es verdient bloſs bemerkt zu werden, daſs Bianconi [7]) zuerst den Einfluſs der Wärme auf die Geschwindigkeit des Schalles wahrnahm, weil derselbe im Winter 4 Sec. mehr gebrauchte, um einen Raum von 16 ital. Meilen zu durchlaufen, als im Sommer. Dieser Einfluſs wurde selbst von den französischen Academikern bei ihren weitläuftigen Versuchen übersehen, welche unter allen älteren noch einige Berücksichtigung verdienen. Zuerst fanden nämlich Cassini, Picard und

1) G Ann. XLII. 3. XVIII. 401. XXI. 449.
2) S. Quarterly Journ. of Sc. and Art. N. S. VII. 124.
3) Journ. de l'ecole pol. VII.
4) Mém. de Berlin 1801.
5) Mém. de Berl. 1786. Vergl. Gilb. Ann. XLIV. 241.
6) Dissertat. Phys. math. de Celer. Soni. 1819. 4.
7) Comm. Bonon. II 365.

Olow Roemer die Geschwindigkeit des Schalles = 1097 par. F. in einer Sec. [1]), die Academiker Cassini de Thury, Maraldi und La Caille, welche später die Versuche mit genaueren Messungen anstellten, fanden sie bei Paris = 1038 und nachher 1041 Fuſs [2]). Bei Quito wurde dieselbe = 1044 und 1050 und nach Condamine's Erzählung [3]) zu Cayenne endlich 1098 F. gefunden. Statt daſs alle diese gefundenen Werthe zu groſs sind, fand Gregory die Geschwindigkeit des Schalles zu klein [4]), der anderen älteren Versuche nicht zu gedenken.

Der erste, welcher die Entfernung des schallenden Geschützes mit groſser Genauigkeit maſs, das Zeitintervall zwischen dem Aufblitzen und dem gehörten Knalle des Geschützes aber vermittelst einer Tertienuhr von Pfaffius in Wesel mit gröſster Schärfe maſs, dabei den Einfluſs der Wärme mit in Rechnung brachte, war Benzenberg, und erhielt hiernach für 0° C. eine Geschwindigkeit von 1027 par. F. in einer Secunde [5]). Genauere Messung der Entfernung wandten die Pariser Academiker im Jahre 1822 an, allein sie bedienten sich zum Zeitmaſse bloſs der Secundenuhren, welche für solche feine Versuche nicht genügen. Auf der einen Station zu Montleri befanden sich v. Humboldt, Gay-Lüssac und Bouvard, auf der andern zu Ville-Iuif dagegen Prony, Mathieu und Arago, und es waren absichtlich zwei Stationen gewählt, um den Einfluſs des Windes zu erforschen. Als Endresultat fanden sie für 0° C. die Geschwindigkeit des Schalles = 169,8 Tois. oder 1018,8 par. Fuſs [6]). Wäre bei diesen Versuchen ein genaueres Zeitmaſs angewandt, so läſst sich von der bekannten Fertigkeit der berühmten Experimentatoren nicht anders erwarten, als daſs ihre Bemühungen alle folgende überflüssig gemacht haben würden; so aber ergiebt eine strenge Prüfung, daſs es für den heutigen Zustand der Wissenschaften noch schärferer Bestimmungen bedarf. Es ist daher sehr schätzbar, daſs die Versuche nochmals an einem sehr geeigneten Orte auf einer weiten Ebene durch die holländischen Physiker van Moll, van Beek und

1) Du Hamel Hist. de l'Acad. L. II. Sect. 3. Chap. 2.
2) Mém. de l'Acad. 1738 und 39.
3) Voy. de la Riv. des Amazones p. 206.
4) Bibl. Brit. XXVII. 264.
5) Gilb. Ann. XXXV. 383. XLII. 1.
6) Ann. Chim. et Phys. XX. 210.

Kuytenbrewer im Jahre 1823 wiederholt wurden. Bei diesen war sowohl die Distanzmessung als auch die Zeitbestimmung völlig genau, und man darf daher das erhaltene Resultat, wonach der Schall bei 0° C. in einer Sexagesimalsecunde 1022,2 par. Fuſs durchläuft, als völlig genau betrachten. Die Bestimmung der französischen Academiker, daſs 1° C. Wärme die Geschwindigkeit des Schalles um 1,926 par. F. vermehrt, bedarf schwerlich noch einer Verbesserung.

Hiernach lassen sich die minder genauen Versuche beurtheilen, z. B. die von Goldingham in Madras angestellten [1]), deren Resultat nach allen Correctionen den neuesten französischen am nächsten kommt, und durch welche zugleich entschieden ist, daſs die Geschwindigkeit des Schalles bei gröſseren Entfernungen weder wächst noch abnimmt, sondern stets gleichmäſsig bleibt. Unter die offenbar unrichtigen gehören diejenigen Resultate, welche Dr. Jose de Espinoza und Dr. Filipe Bauza aus ihren Versuchen zu St. Jago de Chili erhielten, indem sie bei 23°,2 C. die Geschwindigkeit des Schalles = 190,6 Tois. gefunden haben, welches 1143,6 par. F. beträgt, und auf 0° C. reducirt 1098,92.

Ob und in wie weit der Wind die Geschwindigkeit des Schalles vermehre oder vermindere, ist durch Versuche noch nicht mit völliger Sicherheit ausgemittelt, da solche ohnehin unter die weitläuftigsten und beschwerlichsten gehören. Die Pariser Academiker bei den älteren Versuchen nahmen eine Vermehrung der Schallgeschwindigkeit durch den Wind an, jedoch sollte sie der Geschwindigkeit des lezteren nicht ganz gleich seyn [2]). Goldingham bestimmt die Vermehrung durch einen starken Wind zu 9,3 par. Fuſs, und wenn diese Gröſse zu der durch ihn gefundenen, = 1013 hinzuaddirt wird, so kommt das erhaltene Resultat dem durch die holländischen Physiker gefundenen völlig gleich. Im Ganzen ist man über diese Frage nur in so fern einig, daſs der Wind gar keinen Einfluſs hat, wenn er lothrecht auf die Bahn des Schalles gerichtet ist, übrigens aber schreiben die meisten demselben wenigstens einigen Einfluſs zu [3]).

Tropfbare Flüssigkeiten sind zur Erzeugung des Schalles ganz untauglich, und da, wo sie ihn hervorzubringen scheinen, geschieht dieses nur mittelbar durch die Zusam-

---

1) Phil. Trans. 1823. Tom. I. p. 96.

2) Mém. de l'Acad. 1738.

3) S. Journ. de Phys. LXXIX. 285. Gilb. Ann. LVIII. 138.

mendrückung der Luft, welche dadurch zum Tönen gebracht wird. Die Ursache hiervon liegt in der geringen Zusammendrückbarkeit ihrer Theile neben der leichten Verschiebbarkeit derselben über einander. Man zweifelte daher an der Fortpflanzung des Schalles durch dieselben, wogegen aber die Gehörwerkzeuge der Fische und mehrere Zeichen, dafs sie wirklich hören, zu streiten schienen. Um die Leitungsfähigkeit des Wassers zu prüfen tauchten daher Nollet [1] und Hawksbee [2] selbst unter, entschieden aber dadurch nichts, weil sie nicht aufser Verbindung mit der Erde waren, durch welche der Schall geleitet seyn konnte; Monro dagegen tauchte frei im Wasser unter, und bewies dadurch dessen Leitungsfähigkeit [3]. Seitdem ist die Leitungsfähigkeit des Wassers und der tropfbaren Flüssigkeiten überhaupt durch eine Menge Versuche von Perolle, Savart [4] u. a. nicht blofs aufser Zweifel gesetzt, sondern auch genauer untersucht und bedeutend stärker gefunden als bei elastischen Flüssigkeiten, worin sie sich also den festen Körpern mehr nähern.

Dafs feste Körper den Schall besser und schneller fortleiten als flüssige und expansibele, wufste man lange, auch läfst sich dieses leicht mit silbernen Löffeln, Glasröhren u. dgl. zeigen, wenn man sie an Fäden bindet und diese mit den Fingern in die Ohren führt, oder mit langen Stangen, Röhren, Drähten u. s. w., welche man in das Ohr steckt und am andern Ende nur leise mit einem Stecknadelknopfe berührt, jedoch zeigten sich grofse Schwierigkeiten, die Geschwindigkeit der Fortpflanzung aufzufinden. Nach Wünsch sollte dieselbe unendlich seyn [5], weil die Zeit der Bewegung von ihm unmefsbar gefunden wurde, was aber aus theoretischen Gründen ganz unzulässig ist. Ungenügend waren ferner die Versuche, welche Hassenfratz mit Zuziehung des damals noch sehr jungen Gay Lüssac anstellte, wodurch zwar die absolute Geschwindigkeit nicht aufgefunden, so viel aber ausgemacht wurde, dafs sie ungleich gröfser ist, als in der Luft, bei verschiedenen Körpern verschieden und durch die Höhe oder Tiefe der Töne

---

1) Leçons de Phys. III. 417. Vergl. Sur l'ouie des Poissons. In Mém. de Par. 1743. p. 199.

2) Phil. Trans. XXVI. N. 321. p. 371 u 486.

3) Vergl. d. Baues u. d. Physiol. d. Fische. A. d. E. Leipz. 1787. 4.

4) Ann. Chim. et de Phys. XXXI. 283.

5) Samml. d. deutsch. Abh. der Berlin. Soc. Berl. 1793. 4.

nicht bedingt [1]) Man hat indeſs Mittel, die Geschwindigkeit, womit der Schall durch feste Körper fortgeleitet wird, auf indirectem Wege zu bestimmen.

Nach Chladni geht der Schall durch jeden elastischen Körper in der Zeit, in welcher er frei schwebend eine Longitudinal Schwingung macht, ein Satz, welcher aus der Vergleichung der Geschwindigkeit, womit der Schall die Luft durchläuft, und der Länge der Longitudinalschwingungen derselben hergenommen ist. Aus der Vergleichung der Länge eines durch Streichen zum Tönen gebrachten Stabes mit der Länge einer gleichstimmenden Orgelpfeife läſst sich also bei der bekannten Geschwindigkeit des Schalles in der Luft die Geschwindigkeit in festen Körpern finden. Es leiten daher Zinn 7,5; Silber 9; Kupfer fast 12; Eisen fast 17mal schneller als die Luft [2]). Wenn hiermit die groſsen Versuche von Biot [3]) nicht ganz übereinstimmen, so liegt dieses vielleicht an der Unvollkommenheit der Zeitbestimmung [4]) und an der ungleichen Beschaffenheit des Metalles.

La Place wählte eine andere sinnreiche Methode, um die Geschwindigkeit des Schalles in festen Körpern und tropfbaren Flüssigkeiten aufzufinden, welche auf das Princip gegründet ist, daſs zwei durch einen festen Körper verbundene bewegliche Körper einander ihre Bewegung mittheilen, weil die zwischenliegenden Molecülen einen Impuls erhalten. Wenn auf gleiche Weise eine Schallwelle den Elementen der berührenden Körper ihre Bewegung mittheilt, und man weiſs, um den wievielsten Theil ein Körper von gegebener Länge durch sein eigenes Gewicht zusammengedrückt wird, so ist, diese Gröſse = a genannt, die Geschwindigkeit des Schalles in einer Secunde $c = \sqrt{\frac{2g}{a}}$

Eine Anwendung hiervon auf Messing (*cuivre jaune*) gemacht fand Borda, daſs ein Meter dieses Metalles durch sein eigenes Gewicht um 0,00000077379 Meter zusammengedrückt werde. Setzt man, wie oben, 2g = 9,8088 Met, so erhält man 3560,4 Meter, statt dessen Chladni 3596,58 Met. fand. Nach Canton's Versuchen ist a bei Wasser

1) Mém. de l'Inst. Sav. Etr. II. 103. Ann. de Chim. LIII. 64.
2) S. Voigt Mag. I. I. G. XXXV. 409. Chladni Neue Beitr. 85.
3) Mém. de la Soc. d'Arc. II. 403.
4) Gilbert Ann. XXXVII. 221.

= 0,0000425, also die Geschwindigkeit hierfür 1525,8 Met. und für Seewasser 1620,9 Met.

Colladon und Sturm haben nach dieser Formel die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser berechnet und mit den Ergebnissen der Versuche verglichen. Leztere wurden im Genfer See angestellt, und dann in der Berechnung nach der Formel die bei diesem Wasser durch Messung gefundenen Gröfsen der Dichtigkeit, Temperatur und Zusammendrückbarkeit benutzt Hiernach erhielten sie die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung aus der Erfahrung = 1435 Met., nach Rechnung = 1428 in 1 Sec., welches nur eine Differenz von 7 Met. giebt, und man also nach La Place's Hypothese auf eine geringe Wärme-Ausscheidung aus Wasser durch Compression schliefsen mufs, was mit der Erfahrung völlig übereinstimmt.

Man betrachtet die Schallwellen als vom schallenden Körper aus nach allen Seiten hin sich verbreitend, und in der That hört man auch anscheinend mit gleicher Stärke den Ton eines schallenden Körpers in einer um denselben gebildeten Sphäre, wenn nicht der Wind den Schall in der Richtung seiner Bahn verstärkt, oder der schallende Körper an einer Seite eine den erzeugten Wellen gleichsam zum Stützpuncte dienende Fläche hat, wie bei einer redenden Person u. dgl. Was indefs schon früher beobachtet war hat W. Weber sachgemäfs erklärt, nämlich dafs manche schallende Körper in gewissen Richtungen weit stärkere Schallwellen fortsenden als in andern. Man sieht dieses am besten an einer Stimmgabel, welche in der geraden Richtung der breiten und der schmalen Flächen ihrer Zinken Schallwellen von grofser Intensität fortstöfst, in einer zwischen beiden liegenden Richtung aber, deren Lage nach dem Verhältnifs der Breiten beider Flächen verschieden ist, gar nicht gehört wird. Der Versuch läfst sich leicht mit einer lothrecht vor ein Ohr gehaltenen und um die Axe ihres Stieles gedreheten tönenden Stimmgabel anstellen, Chladni hat indefs ein sinnreiches Mittel angegeben, dieses und das Mittönen eingeschlossener Luftmassen hörbar zu machen. Zu diesem Ende giefst man in ein Medicinglas so lange Wasser, bis der Ton der eingeschlossenen Luftmasse mit der Stimmgabel gleichtönend ist, und drehet leztere dann in horizontaler Richtung über der Mündung des Glases langsam um die Axe ihres Stieles, in welchem Falle man die Richtung der Schallwellen durch das Mittönen der im Glase eingeschlossenen Luftmasse, und diejenige, in welcher jene

fehlen, durch das Aufhören des vernehmlichen Tones wahrnimmt.

Obgleich die Schallwellen durch feste Körper besser und schneller als durch gasförmige fortgeleitet werden, so hindern erstere doch den in der Luft verbreiteten Schall, weswegen derselbe nicht leicht aus dem Freien in verschlossene Räume dringt und umgekehrt, und von Personen in Zimmern am lautesten durch geöffnete Fenster wahrgenommen wird, wenn er auswärts erzeugt ist. Im Allgemeinen kann angenommen werden, dafs die Schallwellen am meisten von ihrer Stärke verlieren, wenn sie aus einem dünneren Mittel in ein dichteres übergehen, und auch umgekehrt, wiewohl dann weniger. Hierin liegt der Grund, warum insbesondere weiche Körper den Schall sehr schwächen, als wollene und seidene Tücher, Federbetten, Pelzwerk u. dgl. obgleich ein wollener Faden an eine Glasstange gebunden und gespannt zum Ohre geführt die Transversalschwingungen derselben sehr gut zum Ohre leitet. Aus dem angegebenen Grunde hört man die Schläge gegen eine Taucherglocke aus 30 F. Tiefe oben sehr deutlich, unter derselben aber vernimmt man nichts von einem über dem Wasser erzeugten Schalle [1]).

Wie weit der Schall durch die Luft fortgepflanzt werde ist in jedem einzelnen Falle schwer zu entscheiden, weil man nicht weifs, ob die Leitung nicht zugleich durch feste Körper geschieht, da es ausgemacht ist, dafs leztere ihn besser und auf gröfsere Strecken fortleiten. Als die gröfste Entfernung wird angeführt, dafs die Explosionen des Vulcan's St. Vincent bis Demerary auf 300 engl. Meilen weit gehört wurden [2]), wobei jedoch die Fortleitung durch die Luft keineswegs als erwiesen anzusehen ist. Die Kanonade von Mainz 1792 hörte man auf der Hube bei Einbeck im Hannöverschen auf etwa 33 geogr. Meilen Entfernung vermuthlich durch die festen Theile der Erde, die bei Helgoland 1809 aber, wahrscheinlich durch die Luft auf etwa 35 geogr. Meilen weit in Hannover. Dagegen wird der Schall oft in unglaublich geringen Entfernungen nicht gehört, wenn er über Berge gehen müfste. Auf die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft hat der Wind einen

---

[1]) Bibl. univ. XIII. 230.

[2]) Ann. of Phil. 1816. Jan. p. 3.

grofsen Einflufs, eine bekannte Erfahrung, worüber Haldane, de la Roche und Dünal Versuche angestellt haben [1]).

§. 95.

Wenn die Schallwellen zwischen feste Grenzen so eingeschlossen werden, dafs sie beim Fortgange einen Cylinder bilden, so durchlaufen sie einen gröfseren Raum. Hierauf beruhet die Construction der Sprachrohre. Stofsen sie dagegen auf feste Wände, so werden sie nach den Gesetzen der Bewegung elastischer Körper zurückgeworfen, woraus die Erscheinungen des Echo's, der Sprachgewölbe und der Flüstergallerieen erklärbar sind. Die Hörrohre sind weder theoretisch hinlänglich untersucht, noch auch genügenden Erfahrungen gemäfs construirt.

Biot untersuchte die Abnahme des Schalles, wenn er in der Luft der Röhren fortgeleitet wird, vermittelst der neu angelegten eisernen Wasserleitungen in Paris, und fand auf einer Strecke von 488 Toisen oder 2928 par. F. durchaus keine merkliche Abnahme [2]). Hiernach müfste der Schall in Röhren von jeder gegebenen Länge ungeschwächt fortgepflanzt werden, welches zwar unmöglich ist, indefs bleibt die Beobachtung und die dadurch erhaltene Erfahrung in einem sehr hohen Grade merkwürdig.

Das Sprachrohr, von Samuel Morland 1670 erfunden, ist ein abgekürzter Kegel, in welchem die Schallstrahlen durch Reflection die Gestalt eines Cylinders erhalten [3]), Fig. 78] wie aus der Zeichnung leicht ersichtlich, und mit der Theorie von der Fortpflanzung des Schalles sehr wohl vereinbar ist. Anderweitige Vorschläge zur Verbesserung,

---

1) Journ. de Phys. LXXIX. 285. Ann de Chim. et de Phys. I. p. 176. Aeltere Untersuchungen über die Fortpflanzung des Schalles sind von L. Euler in Mém. de Berl. 1759 u. 1765; von Lambert ebend. 1768 u. 1770; von Perolle in Mém. de l'Acad. Roy. de Turin 1786, 1787, 1790 u. 1791. Vergl. Gilb. Ann. XXI. 437; XXXIX. 142; XLII. 12; XLVIII. 66; LVIII. 138.

2) Mém. de la Soc. d'Arcueil. II. 94. Ann. de Chim. et de Phys. VII. 98.

3) S. Account. of the speaking Trumpet cet. by Sam. Morland. Lond. 1671. Vergl. Phil. Trans. VI. 3056. Vergl. Conyer ebend. XII. 1027. Lambert mem. de Berl. 1763. dessen Ueber einige akustische Instrumente. Berl. 1793. Hase de Turbis stentoriis. Lips. 1717.

z. B. von Hassenfratz [1]), sind ohne Erfolg gewesen. Die Masse und Oberfläche der Sprachröhre ist von keinem Einflusse, doch soll die trompetenförmige Umbiegung am Ende derselben den Schall verstärken. Die absolute Weite, wohin der Schall einer starken Stimme durch ein gutes Sprachrohr gebracht wird, beträgt nach meinen Versuchen höchstens 18000 Fuſs.

Die Schallwellen werden von allen Körpern nach Verhältniſs der Härte und Glätte ihrer Oberfläche reflectirt, woraus das laute Schallen in Kirchen und neuen Häusern erklärlich wird, denn so lange die reflectirten Schallstrahlen mit den ursprünglichen zusammenfallen, entsteht eine bloſse Verstärkung derselben, und kein vernehmliches Echo. Es läſst sich indeſs mit ziemlicher Genauigkeit annehmen, daſs das Ohr etwa 8 einzelne Laute in einer Secunde unterscheiden kann, und da der Schall zur reflectirenden Fläche hin und wieder zurück muſs, ehe der folgende Laut mit ihm zusammenfällt, so giebt dieses, die Schallgeschwindigkeit bei mittlerer Temperatur = 1040 par. Fuſs in einer Secunde gesetzt, $\frac{1040}{16} = 65$ par. Fuſs als die geringste Entfernung der reflectirenden Fläche, wenn sie ein Echo hervorbringen soll. Bei den Flächen kommt es nicht sowohl auf ihre Glätte an, wenn sie ein gutes Echo geben sollen, als vielmehr darauf, daſs sie selbst, vor ihnen stehende Bäume oder die Luft in Räumen in ihnen zugleich in correspondirende Schwingungen versetzt werden. Die Echo's werden nach der Zahl der brechenden Flächen und ihren Entfernungen ein- oder mehrsylbig, einfach oder vielfach [2]). Die Sprachgewölbe jeder Art entstehen durch elliptisch oder parabolisch gekrümmte Flächen nach der Theorie der Reflection [3]). Zimmer, in denen sich der Schall nach allen Seiten verbreiten soll, dürfen daher nur wenig oder gar nicht gewölbt seyn.

Um ein Hörrohr zu erhalten ist es keineswegs genügend, durch eine gröſsere Oeffnung eine gröſsere Menge Schallwellen aufzufangen. Dagegen zeigt die Erfahrung,

---

1) J. d. ph. LVI. 18. LX. 20.

2) S. Gehler Art. Echo. Lichtenberg verm. Schr. VIII. 194. Chladni Neue Beitr. 83.

3) S. Poisson J. de l'ecole polyt. VII. 350. Mém. de l'Acad. Roy. de l'Instit. T. II. Mém. de l'acad. de Turin 1788.

dafs die Zuleitung zum Ohre auf allen Fall gekrümmt seyn mufs. Genauere Untersuchungen hierüber wären sehr wünschenswerth, indem die bisher construirten Hörrohre noch sehr unvollkommen und wegen des meistens durch sie gleichzeitig neben den Tönen wahrgenommenen Brausens unbrauchbar sind.

3) Wahrnehmung des Schalles.

§. 66.

Jede Art von Schall wird durch Afficirung der Gehörnerven vernommen. Meistens geschieht dieses vermittelst der Gehörwerkzeuge, oft auch durch andere damit in Verbindung stehende Theile. Schwerhörigkeit und Taubheit sind Folgen mangelhafter Fortleitung des Schalles bis zum Gehörnerven, oder der Unthätigkeit des lezteren, in welchem Falle keine Heilung zu erwarten steht. Das gesunde Ohr hört allezeit richtig, aber die Täuschungen sind Folgen der Schlüsse aus den Wahrnehmungen.

Das gesunde Ohr des Menschen unterscheidet in der Regel die Höhe und Tiefe der Töne und ihren Klang, schwerlich aber geschieht dieses überall mit gleicher Leichtigkeit und Bestimmtheit, wie sich mit gröfster Wahrscheinlichkeit aus den sehr ungleichen Anlagen für Musik schliefsen läfst. Merkwürdig ist dabei der Umstand, dafs der Umfang der wahrnehmbaren Töne bei verschiedenen Menschen verschieden zu seyn scheint, indem einige die sehr tiefen, andere die sehr hohen Töne gar nicht wahrnehmen, zuweilen sogar gegen einige hohe Töne unempfindlich sind, die höheren dann wieder zu hören vermögen, worüber indefs nur wenige Erfahrungen vorhanden sind [1].

Völlig taube Personen können den Sinn des Gesprochenen aus der Bewegung des Mundes errathen, und die Erschütterung stark schallender Körper durch den Eindruck auf die Nerven des Gefühls wahrnehmen, ohne zu hören. Das menschliche, dem thierischen ähnliche Ohr besteht aus dem äufseren Ohre mit der Muschel, aus welcher der Schall durch den Gehörgang und die Pauke zum innern Ohre ge-

---

[1]) S. Wollaston in Phil. Trans. 1820. II. p. 306.

langt. Der Zweck der lezteren scheint vorzüglich die Sicherung der inneren Theile des Ohres zu seyn, jedoch dient dasselbe auch als Hülfsmittel, damit die Gehörknöchelchen die zur Fortpflanzung des Schalles erforderliche Spannung erhalten. In der Trommelhöhle nämlich liegen der Hammer, Ambos, das kleine os orbiculare, und der Steigbügel. Die drei ersteren Knöchelchen können durch Krankheit verloren werden, ohne daſs dieses den Verlust des Gehörs nothwendig nach sich zieht; wird aber der Steigbügel zerstört, so flieſst das Wasser aus dem Labyrinthe, der Nerv fällt zusammen, vertrocknet, und die Fähigkeit des Hörens ist unwiderbringlich verloren. Aus der inneren Höhle des Ohres geht die Eustachische Röhre in die Mundhöhle, deren Bestimmung zu seyn scheint, die Luft der Trommelhöhle stets in gleicher Dichtigkeit zu erhalten. Seitwärts über der Höhle liegt das Labyrinth, worin der Vorhof mit dem kleinen vom Steigbügel bedeckten ovalen, und dem etwas davon entfernten runden Fenster, die drei ungleich groſsen halbkreisförmigen Canäle und die Schnecke unterschieden werden. Von hier aus verbreiten sich die verschiedenen Aeste des Gehörnerven, woraus erklärlich wird, daſs man durch die Zähne, Stirn, Schulter u. s. w. hören kann [1]).

Bei Schwerhörigkeit oder völliger Taubheit giebt es ein sicheres Mittel, um zu erfahren, ob der Gehörnerv noch von ungeschwächter Thätigkeit ist, indem man die Schläge einer zwischen die Zähne genommenen Taschenuhr zu hören versucht. Werden diese noch vollkommen deutlich vernommen, so ist entweder der äuſsere Gehörgang verstopft und muſs gereinigt werden, oder in sehr vielen Fällen ist die Eustachische Röhre verschlossen, und das Gleichgewicht zwischen der im Ohre eingeschlossenen und der äuſsern Luft aufgehoben. Kann die Eustachische Röhre durch die geeigneten Mittel nicht geöffnet und offen erhalten werden, so ist in diesem Falle die durch Astley Cooper vorgeschlagene Durchbohrung des Paukenfelles anwendbar [2]). Eine Taubheit ganz eigner Art ist die soge-

[1]) S. A. Scarpa anat. disq. de auditu et olfactu Tic. 1789. fol. Sömmerring Abbild. d. menschl. Hörorgans, 1805. Loder anat. Tafeln, 54. 55. 162. Hunter in phil. tr. LXXII. Monro Vergleichung des Baues u. d. Physiologie d. Fische u. s. w. übers. von Camper. Leipz. 1787. 4. Gilb. Ann. IX. 484. LIV. 362 u. 425.

[2]) S. Gilb. Ann. LIV. 394 ff.

nannte *paracusis Willisiana*, welche in seltenen Fällen beobachtet wird. Sie besteht darin, dafs sehr schwerhörige Personen einen Redenden ziemlich oder vollkommen gut verstehen, wenn ihre Ohren zugleich durch ein starkes Geräusch, z. B das Getöse einer Trommel, das Rasseln eines Wagens, worin sie sitzen u. s. w. afficirt wird [1]).

Da die Schallwellen durch Röhren von jeder Weite und mit willkührlichen Krümmungen verschen fortgeleitet werden, so geht hieraus die Erklärung der redenden Köpfe leicht hervor. Am interessantesten wurde diese akustische Täuschung dargestellt in der sogenannten unsichtbaren Frau (*invisible girl*), wovon der Anblick der Figur eine deutliche Fig. 79] Vorstellung giebt [2]). Das leichte Gitter A A B B aus 4 Stützen und dünnen Stäbchen zusammengesetzt, steht meistens in der Mitte eines geeigneten Zimmers, von dessen Decke an seidenen Bändern die Kugel C mit 4 trompetenförmigen Oeffnungen a ; a ; a ; a herabhängt. Oft sind die Bänder auch an die vom Gitter aus aufwärts gebogenen Drähte d ; d ; d ; d gebunden. Die Mündungen dieser trompetenförmigen Röhren sind gegen die Mitte der oberen Leisten des Gitters gerichtet, in deren einer, jener Mündung gegenüber, sich eine schmale Oeffnung befindet, die mit einem Canale zusammenhängt, welcher durch die Leiste und die eine Stütze des Gitters unter dem Fufsboden hin bis in ein Nebenzimmer fortgeführt ist, wo die redende Person durch diesen hört und antwortet. Meistens befindet sich in der beide Zimmer trennenden Wand eine kleine, nicht wohl bemerkbare Oeffnung, durch welche diese Person zugleich sieht, um ihre Antworten besser einzurichten. Am merkwürdigsten hierbei ist, dafs die Verbindung mit jener Person nur durch diese, gegen eine der Trompeten gerichtete Oeffnung hergestellt ist, und man dennoch durch alle vier Trompeten mit ihr reden kann und an allen gleich deutlich die Antworten vernimmt, wovon die Ursache in der Verstärkung des Schalles durch die hohle Kugel liegt. Auf einem ähnlichen Grunde beruhen grofsentheils die Wirkungen des durch Laennec erfundenen *Stethoskop's*, eines etwa 1 F. langen und 1,25 Z. dicken hölzernen Cylinders, welcher, mit einem Ende auf die Brust eines Patienten gesetzt, mit dem andern an das Ohr des Arztes gehalten, vorhandene hohle Räume, Geschwüre u. s. w. beim Reden oder

---

[1]) S. Willis de anima Brutorum. Lugd. 1676. 4. p. 93.

[2]) Gilb. Ann. XXVIII. 244. XXIX. 470.

Athmen des Kranken anzeigt [1]). Auch das Bauchreden scheint mir zum Theil hieraus erklärlich, welches mit großer Fertigkeit ausgeübt ganz unglaubliche Erscheinungen darbietet. Die Hauptbedingungen der dadurch erzeugten Täuschungen beruhen darauf, daß der Bauchredner selbst in einem ganz andern Tone redet, als worin er die fingirte Person reden läßt, daß man den Ort, wo er selbst redet, sehr gut aus der Richtung der Schallwellen und den Bewegungen des Mundes erkennt, während er selbst sich nach dem Orte hinwendet, wo er die fingirte Person redend darstellt, und daß hierdurch die Vorstellung einer daselbst redenden Person hervorgebracht wird, weil man den Ort, wo die Stimme sich wirklich befindet, nicht erkennen kann. Lezteres liegt hauptsächlich daran, daß der Künstler, wenn er die fingirte Person redend vorstellt, die Luft nicht fortstoßt, um die Richtung der Schallwellen zu vermeiden, die äußeren Sprachorgane gar nicht oder unmerklich bewegt, und der Stimme in den Räumen seiner erweiterten Brust eine Art Resonanz giebt. Die Kunst ist, bei großer Fertigkeit, sehr schwer, die Täuschung aber so viel leichter, weil man überhaupt den Ort eines erzeugten Schalles nur unsicher angeben kann, weswegen auch die Ohrentäuschungen weit häufiger sind, als die Augentäuschungen [2]).

---

[1]) De l'Auscultation médiate cet. par R. T. Laennec. Par. 1819. II vol. 8. I. p. 8 ff. Vergl. Charakteristik d. franz. Medicin cet. von J. L. Casper. Leipzig 1822. p. 230.

[2]) S. Gehler's Wörterb. Art. Bauchredner. Ueber die Akustik überhaupt S. Chladni Entdeckungen über die Theorie des Klanges. Leipz. 1787. 4. Besser und am vollständigsten: Akustik, bearbeitet von Ernst Friedrich Florencourt Chladni. Leipz. 1802. Eine abgekürzte Uebersetzung ist Traité d'Acoustique par E. F. F. Chladni. Par. 1809. 8. Neue Beiträge zur Akustik, von dems. Leipz. 1817. Wellenlehre u. s. w., von E. H. Weber und W. Weber. Leipz. 1825. 2ter Haupttheil.

III. Weitere Entwickelung der Attractionsgesetze.

§. 67.

Dafs alle Körper einer gegenseitigen Anziehung unterworfen sind, ist durch die Erfahrung gegeben, und aus derselben zugleich das allgemeine Gesetz abstrahirt, dafs die Kraft dieser Attraction der Masse directe und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional sey. Eine unmittelbare Anwendung desselben stellt die Lehre der Gravitation und der Schwere auf (§. 14). Man kann annehmen, daß diese allgemeine Kraft durch die eigenthümliche Beschaffenheit der einzelnen Körper modificirt, sich als Cohäsion oder Cohärenz, Adhäsion und Affinität äufsert.

Die eigentliche Begründung und wissenschaftliche Bestimmung des Wesens der Attraction nebst der Entscheidung der Frage, auf wie viele Kräfte die gesammten Erscheinungen der Anziehungen zurückgebracht werden müssen, hat die Physiker insbesondere seit Newton vielfach beschäftigt, und gehört unter die schwierigsten Probleme, wovon das Wesentlichste sich in Folgendem zusammenfassen läfst.

Eine übergrofse Menge von Erscheinungen zeigt, dafs alles Materielle, was wir kennen, sey es wägbar oder unwägbar, das Bestreben nach gegenseitiger Verbindung habe, folglich Anziehung ausübe. Es zeigt sich dasselbe in dem Zusammenhange, welchen die Theile fester Körper untereinander haben und dem Widerstande, welchen sie den zerreifsenden Gewalten entgegensetzen, im Anhängen tropfbarer Flüssigkeiten an einander und an festen Körpern, in der selbst auf nicht unbedeutende Entfernungen sich erstreckenden Vereinigung gleichartiger Materien aus ihren Auflösungen zur Bildung von Krystallen, in der andauernden Verbindung der Elektricität mit Conductoren, der Wärme mit allen Körpern, des Magnetismus mit einigen, selbst des Lichtes mit den Phosphoren und in vielen andern Phänomenen. Die Ursachen von allen diesen liegen zwar

in der Materie, müssen jedoch auf besondere Kräfte zurückgeführt werden, von denen schwer zu bestimmen ist, ob sie dem Wesen der Materie ganz unmittelbar und nothwendig angehören, oder als selbstständig zu betrachten sind, da sie allerdings in der Abstraction als solche, wenn auch nicht als für sich allein bestehend vorstellbar sind (§. 12). Abstrahirt man von dieser Untersuchung, und berücksichtigt, daſs das Bestreben nach Verbindung oder die Attraction sich hauptsächlich in der Gravitation und Schwere, der Cohäsion, Adhäsion und den chemischen Thätigkeiten zeigt, so kommt hauptsächlich die Frage in Betrachtung, ob alle diese Erscheinungen auf einer einzigen Kraft beruhen, oder auf wesentlich verschiedenen, jeder einzelnen Classe besonders zugehörigen Kräften. Ueber die sogenannte Newtonsche Attractionskraft, welche allgemein der Masse directe und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional wirkt, ist in sofern kein Zweifel mehr vorhanden, als es für ausgemacht gilt, daſs sie bei allen zu unserm Sonnensysteme gehörigen Körpern anscheinend auf gleiche Weise sich wirksam zeigt (§. 28). Ob hierbei die eigenthümliche Beschaffenheit der die verschiedenen Himmelskörper vermuthlich bildenden Materie gar nicht in Betrachtung komme, dieses ist nach den von J. T. Mayer [1]) hierüber angestellten Untersuchungen noch keineswegs mit absoluter Gewiſsheit ausgemacht, indem allerdings ein Unterschied derselben stattfinden könnte, ohne den Astronomen bemerkbar zu werden, welche unter der Voraussetzung einer gleichmäſsigen Anziehung die Dichtigkeiten derselben aus den bekannten Durchmessern berechnen. Es wird indeſs schwer halten, hierüber mit Gewiſsheit etwas auszumachen, und sollte dieses gelingen, so würden dennoch die Resultate für die Beantwortung der hiermit zusammhängenden Fragen schwerlich genügen.

Die Wirkung den Newtonschen Attraction zeigt sich bei unserer Erde in den Erscheinungen der Schwere, auſser welcher aber noch, als Anziehungsphänomene, hauptsächlich die Erscheinungen der Cohäsion, Adhäsion, Krystallisation und der chemischen Verwandtschaft zu untersuchen sind. Eine gewisse Aehnlichkeit aller dieser Phänomene unter sich und mit den Aeuſserungen der Schwere liegt unverkennbar schon darin, daſs sie insgesammt auf einer Anziehung beruhen, auch gehen jene ersteren so in einander über,

---

1) De affinitate chemica corp. coel. in Comm. Soc. Gott. XVI. p. 31.

dafs es kaum möglich ist, der unverkennbar den einzelnen zugehörigen Eigenthümlichkeiten ungeachtet, bestimmte scharfe Grenzen zwischen ihnen festzusetzen. Sofern aber die bestimmt erkannte Newtonsche Attraction unzweifelhaft vorhanden ist, mufste man zu der Frage veranlafst werden, ob diese allein den sämmtlichen genannten Erscheinungen zum Grunde liegt. Newton [1]) selbst war nicht geneigt, dieses anzunehmen, wohl aber wurde La Place durch Berthollet's Theorie von der chemischen Masse zur Annahme dieser Hypothese vermogt [2]). Es scheint auf den ersten Blick ganz unmöglich, namentlich die Erscheinungen der Cohäsion auf die Ursache der Schwere zurückzuführen, insofern z. B. die Theile eines Metalldrahtes mit einer ungleich gröfseren Kraft zusammenhängen, als womit sie zu fallen streben. Hiergegen wandten indefs die Vertheidiger der La Placeschen Meinung ein, dafs nach dem Wesen der Newtonschen Attraction, wonach $k = \frac{m}{x^2}$ ist, wenn k die Attractionskraft, m die Masse und x den Abstand bezeichnet, k unendlich werden müsse, wenn der Abstand zweier Elemente $= x$ verschwinde, sie mithin in unmittelbarer Berührung wären, und die Erscheinungen der Cohäsion also sehr leicht aus der grofsen Nähe erklärbar seyen, worin sich die Körperelemente befänden. Dafs keine Cohäsion eintritt, wenn man zwei ebene Platten einander nähert, kann nicht als Einwurf hiergegen vorgebracht werden, weil unter andern schon die Luft und sonstige feine Theilchen auf den einander sehr nahe gebrachten Flächen die geforderte innige Berührung nicht auf gleiche Weise gestatten, als dieses z. B. beim Schmelzen derselben erfolgt [3]).

Werden die Erscheinungen der Cohäsion und insbesondere der Adhäsion nicht aus der Newtonschen Attraction erklärt, so nimmt man als Ursache derselben eine eigene

---

[1]) Phil. Natur. Princ. math. prop. LXX. theor. XXI.

[2]) Mém. de l'Inst. III. 1 ff. 207 ff. Vergl. Benzenberg in Gilb. Ann. XVI. 76. Biot ebend. XXIII. 134. G. G. Schmidt in Münchener Denksch. 1808. p. 279.

[3]) Tiefer in diese schwierigen Untersuchungen hier einzugehen, scheint mir überflüssig. Sonst ist noch zu bemerken, dafs die Massen-Anziehung jedes Körpers im Mittelpuncte desselben vereint gedacht wird, und kein angezogener Körper ihm näher kommen kann, als bis zur Entfernung seines Halbmessers. Die Anziehung des ganzen Körpers ist ferner die Summe der Anziehungen seiner einzelnen Theile u. s. w.

Flächenkraft an. In Beziehung auf die bloſse Bezeichnung einer solchen Kraft ist es wohl ausgemacht, daſs sie den Erscheinungen allerdings angemessen sey, denn es findet wirklich eine Anziehung zwischen Flächen statt, wie aus den später anzuführenden Erfahrungen folgt, zugleich aber ist klar, daſs damit das eigentliche Wesen der Sache und die ihr zum Grunde liegende Ursache keineswegs bestimmt angegeben werde. Aus der Betrachtung der groſsen Kraft des Zusammenhanges der Theile, woraus verschiedene, vorzüglich feste, Körper bestehen, haben einige nicht ohne Grund gefolgert, die der Cohäsion und Adhäsion zum Grunde liegende Kraft wirke in einem höheren umgekehrten Verhältnisse des Abstandes als dem quadratischen, worin bekanntlich die Newtonsche Attractionskraft wirkt. So wie sich aber die letztere in vielen Erscheinungen auf das Genaueste als allgemein nach dem angegebenen Gesetze wirkend nachweisen läſst, ist man bis jetzt noch keineswegs übereingekommen, in welchem höheren Verhältnisse des Abstandes jene erstere wirken soll, einige sehr schwere Versuche dagegen, welche man für den Zweck dieser Untersuchungen angestellt hat, scheinen sogar auf eine mit den Näherungen wechselnde Anziehung und Abstoſsung zu führen [1]. Gewiſs ist zugleich, daſs auch bei denjenigen Körpern, welche die gröſste Cohäsion zeigen, die Elementartheile nicht in unmittelbarer Berührung seyn können, weil bei ihnen insgesammt durch mechanische Gewalt oder durch Entziehung der Wärme das Volumen verringert wird. Der letztere Umstand führt auf die sinnreiche, durch La Place hauptsächlich vertheidigte Hypothese, daſs die Wärme das eigentliche repulsive Princip sey, welches der Attraction entgegen strebe, ihre Wirkungen beschränke und den verschiedenen Aggregatzustand der Körper bedinge (§. 15).

Einige Physiker haben die Hypothese aufgestellt, es gebe nur zwei Attractionskräfte, die Newtonsche und eine elektrische. Zur ersten von diesen würden dann Gravitation und Schwere, zur andern Cohäsion, Adhäsion, Krystallisation und chemische Verwandtschaft gehören, insofern die in einem entgegengesetzt elektrischen Zustande befindlichen Elemente der Körper durch die ihnen eigenthümliche entgegengesetzte Elektricität angezogen würden. Es läſst sich hiergegen indeſs unter andern einwenden, erstens daſs die stärkste Aufhebung des elektrischen Gleichgewichts keine

[1]) Robison System of Mech. Phil. I. 241.

solche Kraft ausübt, als selbst nur in den Adhäsionsphänomenen sich zeigt, ohngeachtet die feinsten Elektrometer bei zwei Körpern, welche mit grofser Kraft an einander hängen, nicht die geringsten Spuren vorhandener Elektricität wahrnehmbar machen; zweitens dafs selbst in zwei, chemisch mit grofser Kraft sich verbindenden Stoffen sehr entgegengesetzte elektrische Zustände weder vor ihrer Verbindung wahrnehmbar sind, noch auch im Augenblicke der Vereinigung sichtbar werden, und dritttens endlich dafs im Augenblicke der Vereinigung nothwendig eine Ausgleichung beider elektrischen Zustände eintreten mufs, welcher neue Zustand der Indifferenz denn keine weitere Wirkung haben könnte. Dafs entgegengesetzt elektrische Körper sich chemisch verbinden, ist allerdings bekannt, allein ihre Elektricitäten wirken nicht mefsbar mechanisch, und von einer solchen Wirkung kann doch hier allein die Rede seyn Mir scheint diese Ansicht überhaupt mit dem Wesen der Elektricität keineswegs im Einklange zu stehen.

Es ist diesemnach noch nicht mit Bestimmtheit ausgemacht, ob die sämmtlichen Anziehungsphänomene von einer einzigen, nach der individuellen Beschaffenheit der verschiedenen Stoffe modificirten, oder von besonderen, einander nur entfernt ähnlichen Attractionskräften abhängen, und in dieser Beschränkung ist es also zu verstehen, wenn im §. die erstere Ansicht gewählt ist, welche demnach aber blofs als hypothetisch und keineswegs als völlig ausgemacht oder allein zulässig betrachtet werden darf. Ueberhaupt hängt eine erschöpfende Beantwortung dieser Frage mit der Untersuchung zusammen, ob die Materie aus Atomen besteht, welche ihrer Natur nach verschieden und mit denjenigen Kräften begabt sind, aus deren vielfach modificirter Wirksamheit sich die gesammten Naturphänomene erklären lassen, oder zulezt in Kraftpuncte verschwindet, wie Boscovich [1]) annimmt, oder nach sogenannter naturphilosophischer Ansicht aus blofsen Kräften besteht, welches alles gründlich zu erörtern hier zu weit führen würde [2]).

§. 68.

Die erste Modification des allgemeinen Gesetzes

---

[1]) Philos. Naturalis Theoria redacta ad unicam legem virium in natura existientium cet. Vienne 1759. 4.

[2]) Am vollständigsten hierüber handelt Robison in A System of Mech. Phil. I. p. 205 ff.

der Attraction wäre demnach in der Cohäsion gegeben. Sie äufsert sich als absolute, relative, rückwirkende und gegen Drehung ausgeübte Festigkeit der Körper, und wird nach dem Widerstande gemessen, welchen dieselben einer Trennung ihrer Theile entgegensetzen.

Man unterscheidet meistens Cohäsion und Adhäsion in der Art, dafs erstere bei gleichartigen, leztere bei ungleichartigen Materien statt finden soll. Weil dann aber die Flüssigkeiten unter einander, zwei Stahl-Messing- oder sonstige gleichartige Platten Cohäsion zeigen müfsten, und diese also, namentlich die Stärke der Cohäsion des Stahles u. s. w. vermittelst solcher Platten mefsbar seyn würde, eine an den Enden zusammengeschmolzene Stange Silber und Kupfer dagegen Adhäsion u. s. w. welches offenbar auf Widersprüche führt, so nenne ich dem Sprachgebrauche gemäfs *Cohäsion* (von cohaerere) das Zusammenhängen der Bestandtheile starrer Körper mit einander so lange sie in diesem Zustande der Starrheit oder Festigkeit bleiben, *Adhäsion* (von adhaerere) das Aneinanderhängen der Theilchen der Körper oder der lezteren selbst an einander, wonach sie also verschiebbar sind. Beide Wirkungen gehen nicht selten in einander über, z. B. beim Löthen, Kitten, Festwerden flüssiger Massen u. s. w., wenn die weichen und verschiebbaren Bindungsmittel erstarren.

Alle starre Körper zeigen eine gröfsere oder geringere Cohäsion, deren Stärke meistens der Härte proportional ist, in der Anwendung aber durch die Sprödigkeit beschränkt, und mit Elasticität verbunden am auffallendsten wird. Zum Beweise der Sache an sich, und um zu zeigen, dafs die Cohäsionskraft selbst durch Trennung der Theile eines Körpers nicht aufgehoben wird, dienen nicht sowohl die Cohäsionsplatten wegen des unvermeidlichen Luftdruckes, und weil sie nicht zur erforderlichen innigen Berührung gebracht werden können, als vielmehr das Zusammenhängen frisch geschabter Blei-Cylinder, frisch gehobelter sehr feiner Hobelspähne mit dem Holze, wovon sie geschnitten worden, das feste Anhängen feiner Substanzen am Glase und an sonstigen Körpern u. s. w.

Einen Uebergang der Adhäsion zur Cohäsion zeigt die kalte Vergoldung des Stahls. Wird nämlich Stahl durch Schaben an seiner Oberfläche von allen heterogenen Körpern gereinigt, dann ein Goldblättchen auf die Stelle gelegt, ein Stempel aufgesetzt, und gegen diesen ein starker Schlag

mit einem schweren Hammer geführt, so sitzt das Gold an der Stelle fest, wo der Stempel Hervorragungen hat. Die Stärke der Cohäsion ist der Dichtigkeit der Körper nicht proportional, denn Eisen z. B. ist fester als Blei. Im Allgemeinen kann angenommen werden, dafs in Gemäfsheit der Aggregatform der Körper nur eine gewisse Quantität ihrer Elementartheile in unmittelbarer oder nahe unmittelbarer Berührung ist, und die Stärke der Cohäsion mufs dann im Allgemeinen der Quantität der zu gleicher Zeit über die Grenze ihrer Cohäsionskraft hinausgerückten Theile proportional seyn [1]. Folgendes kommt bei der Untersuchung der Cohäsions-Phänomene und Gesetze hauptsächlich in Betrachtung.

1) Die absolute Festigkeit der Körper wird aus der Last in Gewichten bestimmt, welche erforderlich ist, einen Körper von gegebenen Dimensionen nach der Richtung seiner Längenaxe zu zerreifsen. Da es für die verschiedensten Zweige der Technologie von gröfster Wichtigkeit ist, die Gröfse der Last zu kennen, womit eine Stange von Holz, Metall u. s. w. beschwert werden kann, ohne zu zerreifsen, so sind eine unglaubliche Menge Versuche angestellt, um die absolute Festigkeit oder die Stärke der verschiedenen Körper kennen zu lernen. Man nimmt zu diesem Ende runde oder quadratische Stangen, bestimmt ihre Dicken genau, bindet sie oben unbeweglich fest, hängt unten eine Waagschale an dieselben und legt auf diese so viele Gewichte, bis die Stangen reifsen Weil es hierzu einer allzugrofsen Menge Gewichtstücke bedarf, so befestigt man meistens das eine Ende der Stange an einem unbeweglichen Körper, das andere an dem kürzeren Arme eines Hebels, dessen längerer mit Gewichten beschwert ist, und erhält auf diese Weise aus der Last, welche sie zum Zerreifsen bringt, das Maximum ihrer absoluten Festigkeit. Versuche dieser Art haben angestellt vorzüglich Musschenbroek [2], v. Sickingen [3], Guyton de Morveau [4], Eytelwein [5], Barlow [6], Rennie [7],

1) Rumford in Gilb. Ann. XIII. 389.
2) Introd. Th. I. p. 340.
3) Versuche über d. Platina. Manh. 1782.
4) Mém. de l'Inst. IX. 267.
5) Handbuch d. Statik fester Körp. Berl. 1808.
6) Essay on the Strength and Strefs of Timber Lond. 1817.
7) Phil. Trans. 1818. p. 118.

Tredgold [1]), Bevan [2]), v. Mitis [3]) u. a., ausführliche Zusammenstellungen der Resultate findet man hauptsächlich bei Musschenbroek, Eytelwein und Tredgold. Bei der Benutzung derselben ist aber noch vieles zu berücksichtigen. Vor allen Dingen müssen die zu verwendenden Stücke ohne Fehlstellen seyn, und daher Anker, Haken, Tragstangen u. dgl. namentlich alle Theile der Hängebrücken erst vorher probirt werden. Für die lezteren muſs man, der groſsen Gefahr wegen, hierzu eine eigene Maschine verfertigen lassen, anderes, namentlich beim Bauwesen zu verwendendes Eisenwerk prüft man am besten, wenn man es vorher kalt krumm und dann wieder gerade biegt. Bei Metallen darf man nicht sicher von dünneren Stangen auf dickere schlieſsen, da bei den ersteren die Cohäsion stärker ist; bei Hölzern und Hanfseilen ist dieses weniger der Fall, ja ihre Cohäsion (wenigstens die relative Festigkeit hölzerner Balken) nimmt zuweilen mehr als im Verhältniſs ihrer wachsenden Dicke zu. Nach Parrot [4]) riſs Eisendraht von 1 Quad. Lin. Querschnitt durch 300 ℔., von 350 Quad. Lin. aber durch 17300 ℔., statt daſs er hiernach 171500 ℔. hätte tragen müssen; insbesondere aber haben die Versuche von Prony, Fresnel, Molard und Girard gezeigt, daſs dünne Metalldrähte eine ganz unglaubliche, durch einen vermöge des Drahtziehens gleichsam erhaltenen Ueberzug *(corroyage)* noch erhöhete Festigkeit haben. Hanfseile tragen weniger, als die Summe der Tragkraft der einzelnen Seile beträgt, woraus sie geflochten, und so viel weniger, je stärker sie gedrehet sind, naſs und getheert weniger als trocken und rein.

Die Festigkeit der aus dem flüssigen Zustande erhärteten vegetabilischen und thierischen Substanzen, des Mehlkleisters, Gummi's, Firniſses, Schreinerleimes, der Haare, Sehnen u. s. w. ist ganz unglaublich. Namentlich gaben einige durch Rumford [5]) angestellte Versuche sehr interessante Resultate. Ein Cylinder von zusammengeleimten Papiere, höchstens 1 Quad Zoll Querschnitt haltend, trug 30000 ℔., ein Cylinder von Hanfläden, nach ihrer Länge zusammengeleimt, von gleicher Dicke trug 92000 ℔., statt

1) Practical Eſsay on the strength of cast iron. Lond. 1824.
2) Phil. Mag. and Journ. LXVIII. 181.
3) Zeitschrift für Physik u. Mathem. IV. 131.
4) Theoret. Phys. I. 50.
5) Gilb. Ann XIII. 383.

dafs bestes Eisen nur 66000 und gewöhnliches nur 55000 g. trug [1]). Einen seidenen Faden fand er dreimal stärker als einen gleich dicken von Flachs, und ein Menschenhaar im Verhältnifs der Dicke stärker als ein Pferdehaar. Die folgende Tabelle enthält die Gröfse der Festigkeit der gangbarsten Körper von einem rheinl. Quadratzoll Querschnitt in Cöln. Pfunden ohngefähr nach dem mittleren Werthe aus den verschiedenen Versuchen.

Bester biegsamer Stahl	125000
Eisen in dünnen Stangen	70000
— in dickeren Stangen	50000
Feiner Eisendraht	125000
Gold	21000
Silber	41000
Messingdraht	48000
Messing	18500
Kupferdraht	40200
geschlagenes Kupfer	33500
Zinn	4000
Blei	1000
Zink, gegossen	2903
Weifses Glas	2800
Sommereichen Kernholz	25000
Steineichen	22000
Erlenholz	20000
Rothbuchen	15000
Eschenholz	17000
Weifsbuchenholz, Buchsbaumholz	20000
Weiden, Weifstannen, Ulmenholz	15000
Nufsbaum, Kirschbaum	14000
Lindenholz	13000
Birnbaumholz, Pflaumbaumholz	11000
Rothtannenholz, Apfelbaumholz	10000

[1]) Bei verschiedenen physikalischen Geräthschaften können wegen der ungleichen Ausdehnung der Wärme nicht füglich metallene Bänder zur Befestigung umgelegt werden. Man sieht aus dem Mitgetheilten, dafs umgeleimte Papierstreifen oder Hanffäden das Nämliche und eigentlich noch mehr leisten.

Knochen 40000
Hanfseile . . . . 6000.

Will man in der praktischen Anwendung von den mitgetheilten Angaben Gebrauch machen, so darf man die Metalle, wenn sie vorher probirt sind und in nicht zu groſser Dicke angewandt werden, nur mit der Hälfte, Hölzer und Hanfseile nur mit einem Drittheile der angegebenen Lasten beschweren [1].

2) Unter relativer Festigkeit versteht man diejenige Kraft, welche cylindrische oder prismatische Körper, wenn sie an einem Ende unbeweglich befestigt sind, oder mit beiden Enden auf Unterlagen ruhen, einer auf sie drückenden Last entgegensetzen. Weil diese in der praktischen Anwendung noch ungleich häufiger vorkommt, als jene, ein auf die angegebene Weise beschwerter Körper aber nicht eher brechen kann, als bis er zu einer gewissen Tiefe gebogen ist, hierdurch aber seine Längenfibern theils eine Ausdehnung, theils eine Verkürzung erleiden, wobei ihre absolute Festigkeit überwunden werden muſs, so hat man die erforderlichen Bestimmungen sowohl aus der Theorie, welche ihre Elemente aus der bekannten absoluten hernimmt, als auch durch die Erfahrung zu erhalten gesucht. Beide stimmen darin überein, daſs bei einem überall gleich dicken Parallelopipedon die Tragkraft, oder dasjenige Gewicht $= W$, welches dasselbe ohne zu zerbrechen in seiner Mitte tragen kann, wenn es an beiden Seiten unterstützt ist, $W = \frac{fh^2b}{l}$, und wenn es an einem Ende befestigt, am andern belastet ist, $W' = \frac{fh^2b}{4l}$ beträgt, worin l die Länge, h die Höhe und b die Breite, alle drei Gröſsen in dem nämlichen Maſse genommen, bedeutet, wobei jedoch b so groſs seyn muſs, daſs durch die Last keine Krümmung nach der Seite bewirkt wird. Man übersieht bald, daſs

---

1) Wird hiervon eine Anwendung auf die Hängebrücken gemacht, so ist nach Navier: Rapport et mémoire sur les ponts suspendus. 1824. 4. in dem Falle, wenn die Senkung den achten Theil der Spannung beträgt, die horizontale Spannung dem ganzen Gewichte der Brücke gleich, wonach also die Stärke des Eisens geprüft werden muſs. Es folgt ferner aus dem Mitgetheilten, daſs Drahtbrücken eine gröſsere Tragkraft haben, und wohlfeiler sind, als Kettenbrücken, den ersteren steht jedoch die Schwierigkeit entgegen, die einzelnen Drähte insgesammt gleichmäſsig anzuspannen.

dieses nach physikalischen Principien so seyn müsse, allein die bei verschiedenen Körpern verschiedene Kraft des Widerstandes gegen die beugende Last, welche in der Formel = f genannt ist, mufste durch Versuche aufgefunden werden, und da jeder auf die genannte Weise tragende Körper zugleich sein eigenes Gewicht tragen mufs, welches bei zunehmender Länge desselben endlich leicht gröfser als seine ganze Tragkraft werden kann, so hat Tredgold [1]) nicht sowohl das Maximum der Lasten aufgesucht, wodurch die relative Festigkeit der verschiedenen Körper überwunden wird, so dafs sie zerbrechen, sondern diejenigen Lasten, welche sie nicht stärker beugen, als dafs sie nach weggenommenem Drucke ihre ursprüngliche Form wieder annehmen, und womit sie daher sicher belastet werden können. Diese Werthe in Cöln. Pfunden enthält folgende Tabelle unter f, und unter m das absolute Gewicht eines rheinl. Würfelzolles der nämlichen Körper.

Substanzen	f	m
Schmiedeeisen	18315	0,2829
Gufseisen	15743	0,2744
Glockenspeise	10289	0,3035
Messing	6894	0,3112
Zink	5865	0,2615
Zinn	2963	0,2716
Fischbein	5762	0,0483
Eichenholz, geradfibriges . .	4074	0,0309
Tanne, rothe	4414	0,0208
— weifse	3735	0,0175
Lerchenbaum	2125	0,0208
Esche	3643	0,0283
Buche	2428	0,0271
Ulme	3334	0,0293

Mit diesen Bestimmungen erhält man leicht die für die praktische Anwendung erforderlichen Werthe. Es ist nämlich für ein gleichförmiges, an beiden Enden aufliegendes Parallelopipedon $W = \frac{2fbh^2}{3l}$, wenn die Last in der Mitte aufliegt. Ist dieses nicht der Fall, sondern der Balken aufser der Mitte in den Abständen λ und λ' mit der ganzen Last beschwert, so ist $W = \frac{fbh^2}{6} \cdot \frac{l}{\lambda\lambda'}$. Bei gleichmäfsiger

[1]) S. a. a. O.

Vertheilung der Last über den ganzen Balken ist die Tragkraft doppelt so stark, und dieses findet auch dann statt, wenn ein Balken an einem Ende befestigt ist, denn alsdann wird $W = \frac{fbh^2}{6l}$, d. h. ein solcher trägt am andern Ende nur den vierten Theil derjenigen Last, welche ein an beiden Seiten aufliegender zu tragen vermag. Gleiche Gesetze müssen auch für Cylinder gelten. Sind diese an beiden Seiten unterstützt, so ist für die Last in der Mitte $W = \frac{0{,}7854\, f d^3}{2l}$ wenn d den Durchmesser bezeichnet; die übrigen Formeln sind den oben für Balken mitgetheilten ganz analog.

Die Tragkraft der Cylinder wird sehr vermehrt, wenn sie bei unveränderter Masse hohl sind, über die Verhältnisse der inneren und äußeren Durchmesser giebt es indeſs verschiedene Bestimmungen. Nach dem, was für metallene Cylinder bei den Engländern in der Ausübung angenommen wird [1]) verhält sich die relative Festigkeit eines hohlen Cylinders zu der eines massiven von gleicher Metallmasse wie 1,7 : 1 wenn der innere Halbmesser sich zum äußeren wie 3 : 5 verhält, und wie 2 : 1 wenn lezteres = 7 : 10 ist. Dieses leste Verhältniſs giebt für die Metalldicke = 0,15 des ganzen Cylinders, welches nach Tredgold das Minimum ist, wenn es noch stark genug bleiben soll um nicht eingedrückt zu werden. Ist allgemein der äuſsere Halbmesser der Röhre = r, der innere = nr, so ist für einen an beiden Enden unterstützten hohlen Cylinder, die Last in der Mitte angenommen, $W = \frac{3{,}1416\, f r^3 (1 - n^4)}{l}$ und die übrigen Bestimmungen sind den obigen analog.

Man nimmt sehr allgemein an, daſs die Tragkraft dreiseitiger prismatischer Säulen verschieden sey, wenn die scharfe Kante oben und wenn sie unten liege; allein Tredgold folgert aus Düleau's [2]) Versuchen, daſs dieses nicht der Fall sey, und daſs die Tragkraft unverändert bleibe, in welcher Lage sich dieselben befinden mögen. Die Tragkraft eines dreiseitigen Prisma verhält sich aber zu der eines vierseitigen von gleicher Basis und Höhe wie 0,339 : 1;

---

1) Tredgold a. a. O. p. 129.

2) Essay sur la Resistance. cet. p. 26. Vergl. ähnliche Resultate in Jahrb. des polyt. Inst. V. p. 233.

indem aber ersteres halb so viel Masse hat als lezteres, so folgt, dafs die Anwendung desselben nicht vortheilhaft sey.

Bei der Anwendung dieser Formeln darf das eigene Gewicht der Körper nicht vernachlässigt werden. Lezteres ist aber in allen Fällen über die ganze Länge der tragenden Balken verbreitet, mithin ist für diejenigen Formeln, worin dieses für die zu tragende Last gleichfalls angenommen ist, $W = w + w'$, wenn w das belastende Gewicht, w' aber das eigene Gewicht der Balken bezeichnet; in denjenigen Fällen aber, in denen w in der Mitte oder am Ende angebracht ist, wird $W = \frac{2w' + w}{2}$. Anwendungen hiervon sind leicht zu machen wenn die Werthe von w' aus den in der Tabelle unter m mitgetheilten Gröfsen genommen werden. Ist $w = 0$, so kann aus den Formeln die Höhe und Länge derjenigen Balken gefunden werden, welche gerade ihr eigenes Gewicht tragen.

Aus den mitgetheilten Formeln ergiebt sich, dafs die Tragkraft eines Balken's von quadratischem Querschnitte zu der eines aus ihm verfertigten Cylinders sich wie 1 : 0,5895, zu derjenigen des Cylinders, woraus er verfertigt ist, aber nahe genau wie 1 : 1,7 verhält. Um aber aus einem Cylinder das stärkste Parallelopipedon zu erhalten, beschreibe man auf dessen Querschnitte einen Kreis, lege auf den Diameter einen Winkel von 54° 44′ 30″ und wo dieser in denselben einschneidet, da ist der Durchschnitt der beiden Flächen. Die Tragkraft der Balken wird vermehrt, wenn auf beiden Enden eine Last ruhet; noch mehr, wenn sie gespannt sind; auch erhöhet man dieselbe beträchtlich, wenn man sie in der Mitte von oben herab zu $\frac{1}{3}$ bis höchstens $\frac{1}{2}$ ihrer Dicke mit einer Säge einschneidet, und in diesen Einschnitt einen eisernen Keil, welcher auf 6 Zoll Höhe etwa 1 Zoll Dicke erreicht, hineintreibt, bis der Balken sich hebt. Die Ursache liegt ganz einfach darin, dafs kein Balken brechen kann, ohne vorher gebogen zu seyn, das Biegen aber wird eben durch diese Ausspannung verhütet, und kann nicht statt finden, wenn nicht die absolute Festigkeit der ausgespannten Fibern überwunden wird, welche aber ausnehmend grofs ist [1]). Soll ein biegsamer Körper durch eine Last brechen, so mufs er sich erst biegen, oder in der Mitte herabfallen, und weil hierzu Zeit

[1]) Camüs de Mezières in Traité de la force des bois Par. 1782. Vergl. Parrot I. 53.

erfordert wird, so kann er auf kurze Zeitmomente mit einer Last über seine Tragkraft beschwert werden. [1]).

Rückwirkende Festigkeit endlich nennt man diejenige Kraft, womit Säulen einer auf sie nach der Richtung ihrer Längenaxe drückenden Last wiederstehen. Mit den Untersuchungen hierüber sind auch diejenigen verbunden, durch welche bestimmt wird, welche Last die Körper von verschiedener Gröfse zu tragen vermögen, ohne dadurch zerdrückt zu werden.

§. 69.

Die Gesetze der Attraction zeigen sich ferner in den Erscheinungen der Adhäsion, welche zwischen festen und flüssigen Körpern sich dann vorzüglich äufsert, wenn die Elementartheile der lezteren weniger Anziehung zu einander als zu den festen Körpenn haben. Werden die adhärirenden Theile fest, so geht die Adhäsion in Cohäsion über, im entgegengesetzten Falle aber lassen sich die Erscheinungen des Benetzens, der Adhäsionsplatten und die Capillar-Anziehung auf dieselben zurückführen. Auch bei den verschiedenen tropfbar flüssigen Körpern unter einander, desgleichen bei den elastischen Flüssigkeiten sowohl unter sich als auch gegen feste und tropfbar flüssige Körper finden ähnliche Erscheinungen statt, wie sowohl aus theoretischen Gründen folgt, als auch durch die Erfahrung vollkommen bestätigt wird. Diesemnach geben die verschiedenen tropfbaren Flüssigkeiten mehr oder minder innige Verbindungen, und ebenso die expansibelen, sowohl unter sich als auch mit tropfbar flüssigen Körpern, so dafs die Grenze zwischen chemischen Mischungen und blofsen Mengungen schwer zu bestimmen ist. Selbst an festen Körpern hängen die expansibelen mit einer solchen Kraft, dafs sie durch den hydrostatischen Druck beim Eintauchen in Wasser nicht davon losgerissen werden.

---

[1]) Langsdorf in Münch. Denksch. 1811.

Die Erscheinungen der Adhäsion, oder des Anhängens der verschiedenen Körper an einander, sind aufserordentlich zahlreich, und zeigen sich wechselseitig sowohl zwischen festen als auch tropfbar flüssigen und gasförmigen Körpern. Dafs feste Körper mit einer gewissen Kraft aneinander hängen, ergiebt sich schon aus dem Widerstande, welchen die polirtesten Flächen beim Hingleiten über einander ausüben; man macht die Sache indefs meistens durch die sogenannten Adhäsionsplatten sichtbar, ebene Platten, welche mit Oel oder Unschlitt bestrichen, stark an einander hängen. Dieser Versuch ist inzwischen nicht rein, indem hierbei der Zusammenhang durch das Bindungsmittel bewirkt wird. Inzwischen hängen sie auch ohne dieses zusammen, und zwar selbst im luftleeren Raume [1]). Das Anhängen des Staubes, das Ankleben dünner Plättchen, z. B. des Blattgoldes auf völlig trockenen polirten Flächen und ähnliche Erscheinungen gehören gleichfalls hierher.

Bei weitem am häufigsten und mit einer Art von Wahlanziehung haben die Flüssigkeiten die Eigenschaft, mit gröfserer oder geringerer Kraft an festen Körpern hängen zu bleiben. Wenn bei den Flüssigkeiten die Anziehung ihrer Theile allein wirksam ist, so nehmen sie der Theorie gemäfs die Kugelgestalt an, z. B. Quecksilber auf Holz, Wasser auf Staube, Regentropfen, selbst Luftblasen, welche im Wasser an Wänden anhängen oder in die Höhe steigen u. a. m. Findet Adhäsion zwischen ihnen und festen Körpern statt, so werden leztere benetzt, die Flüssigkeiten aber bilden durch die Anziehung ihrer Theile gegen einander Tropfen, welche der Stärke der Adhäsion und der Gröfse der berührten Fläche proportional sind, z. B. beim Wasser auf Glase, Quecksilber auf Metallen. Dahin gehört das Herablaufen der Flüssigkeiten an den Rändern der Gefäfse, die Richtung eines Wasserstrahles aus einer schräg geschnittenen Oeffnung, oder bei der Berührung eines Cylinders, das ungleiche Tröpfeln der Medicin. Oft verbindet sich ein flüssiger Rörper mit zwei einander genäherten Flächen fester Körper, und bewirkt eine bedeutende Stärke des Zusammenhanges, z. B. Cohäsionsplatten durch Oel, Unschlitt, Wasser und andere Flüssigkeiten verbunden, welcher Zusammenhang noch stärker wird, wenn die flüssigen Körper in den festen Zustand übergehen, z. B. das

---

[1]) Huygens in Phil. Trans. N. 86. Vergl. Emmet in Ann. of Phil. N. S. III. 426.

Belegen der Spiegel, Kitten, Leimen, Löthen u. s. w. Wenn gleich feste Körper von gewissen Flüssigkeiten nicht benetzt werden, so bleiben doch kleine Quantitäten derselben auf ihnen hängen, z. B. Quecksilber auf Glas, Wasser auf Fett. Platten, welche mit denselben in Berührung sind, erfordern eine gewisse Kraft, um losgerissen zu werden. Benetzen aber die Flüssigkeiten diese Platten, so erheben sie sich durch Adhäsion an dieselben in Gestalt einer Rolle über die Oberfläche oder zwischen zwei parallelen genäherten Platten. Die Stärke der Adhäsion würde in diesen Fällen noch stärker seyn, wenn die Theile der Flüssigkeiten nicht über einander hinglitten, und dadurch eine Verkleinerung der Adhäsionsfläche entstände. Wird daher auf eine Spiegelplatte eine Wasserschichte von einer Linie dick gegossen, eine Adhäsionsplatte damit in Berührung gebracht, und die zum Losreifsen erforderliche Kraft gemessen, so nimmt diese zu, so wie die Dicke der Wasserschichte abnimmt, und wird um ein vielfaches gröfser, wenn leztere verschwindend dünn geworden ist.

Merkwürdig ist das Verdrängen der verschiedenen Flüssigkeiten, z. B. Wasser, Terpentingeist und Alkohol durch einander von der Oberfläche des benetzten Glases. Giefst man nämlich auf eine Spiegelglasscheibe eine Schichte Wasser von etwa 0,2 Lin. Dicke, und läfst man hierauf einen Tropfen Terpentinspiritus fallen, so wird das Wasser augenblicklich von der Stelle getrieben. Eben dieses erleidet Wasser und auch Terpentinspiritus durch Weingeist, so dafs man hiernach schliefsen müfste, der Weingeist übe unter den drei genannten Flüssigkeiten die stärkste Adhäsion zum Glase aus. Dennoch aber wird Wasser in Haarröhrchen um das Doppelte höher gehoben als Weingeist, welches mit dieser Erklärung im Widerspruche steht. Die eigentliche Ursache liegt darin, dafs der Weingeist durch seine überwiegende Anziehung zum Wasser die Anziehung des lezteren zum Glase verringert [1]).

Eine interessante Erscheinung zeigt sich, wenn man gefärbten Alkohol über Terpentinspiritus in ein Gläschen von etwa 0,75 Z. Durchmesser bringt. Statt dafs die Flächen beider Flüssigkeiten an ihrer Grenze eben seyn müfsten,

[1]) Unter den zahlreichen Schriften über diesen Gegenstand s. Achard phys. chem. Schriften p. 354. Guyton de Morveau Anfangsgr. der pract. Chemie. Leips. 1779. Die Ansichten von Draparnaud, Carradori und Link in Gilb. Ann. XXIV. 121. u. v. a.

ist vielmehr die der oberen concav und die der unteren convex, weil erstere die leztere vom Glase verdrängt. Zieht der Alkohol allmälig Wasser an, und wird dadurch specifisch schwerer, so nimmt er die unterste Stelle ein, und die Krümmungen der sich begrenzenden Flächen sind die entgegengesetzten. Ein anscheinendes Paradoxon ist aus den angegebenen Gesetzen gleichfalls leicht erklärbar. Bringt man nämlich eine metallene, elfenbeinerne, hölzerne oder sonstige Scheibe eines specifisch leichteren Körpers als Quecksilber, welche von diesem nicht benetzt wird, durch Herabdrücken zur Berührung mit dem ebenen Boden des Gefäfses, worin dasselbe sich befindet, so wird sie nicht wieder emporgehoben werden. Die Ursache liegt darin, weil bei der anfangenden Hebung der Scheibe eine verschwindend dünne Schichte Quecksilber unter dieselbe dringen müfste, welche sich aber wegen der Adhäsion der Theilchen dieses Metalles zu bilden nicht vermag.

Neuerdings hat Girard [1]) Versuche bekannt gemacht, welche beweisen, dafs die Moleculärattraction fester Körper auf einander durch die sie benetzenden Flüssigkeiten hindurch wahrnehmbar gemacht werden können. Zu diesem Ende versah er Glasscheiben mit angehefteten Korkstücken so, dafs sie nur wenig specifisch leichter waren als das Wasser, und hing sie mit ihren Flächen parallel an feinen Silberdrähten so im Wasser auf, dafs sie pendelartig schwingen konnten. Wurden sie dann einander so nahe gebracht, dafs ihre gegenseitigen Attractionssphären in einander fielen, so fand eine Verzögerung ihrer rückgängigen Schwingungen statt, und diese schien den Entfernungen, bis auf welche sie einander genähert wurden, umgekehrt proportional zu seyn. Nach den Versuchen erstreckte sich die Weite der beiderseitigen Attractionssphären nicht bis auf 2,5 Millim. (1,108 Lin.) wurde jedoch bei 2,481 Millim. (1,0997 Lin.) schon merkbar. Girard schlofs aus aräometrischen Versuchen, dafs Theilchen fester Körper, welche im Wasser nicht aufgelöset werden, eine Verdichtung des lezteren erzeugen, was aber nach den durch G. G. Schmidt [2]) angestellten prüfenden Versuchen nicht gegründet scheint. Dafs übrigens feste Körper, welche in Flüssigkeiten aufgelöset werden, zusammengeschmolzene Metalle und verschiedene sich einander

[1]) Ann. de Chim. et de Phys. XXIX. 260. Uebers. in Gilb. Ann. LXXXI. 41.

[2]) Hand- und Lehrbuch d. Naturlehre p. 278.

innig vereinigende Flüssigkeiten bei ihrer Verbindung eine Verdichtung erleiden, ist ausgemacht, und schon bei der Bestimmung des spec. Gewichtes erwähnt (§. 43).

Die wichtigste Anwendung dieser Gesetze giebt die sogenannte *Capillarattraction*, oder die Wirkung der Haarröhrchen, sehr feiner röhrenförmiger Räume. Bei der Adhäsion der Flüssigkeiten an berührende Platten kommt die Dicke derselben gar nicht in Betrachtung, und die Wirkung derselben auf Wasser hört auf, sobald die Oberfläche mit einer nur äufserst dünnen Lage Fett überstrichen ist. Die Kraft wirkt also nur in unmefsbarer Ferne, und kann daher blofs als eine Wirkung der Anziehung zwischen den berührenden Elementen des festen Körpers und den Flüssigkeiten, welche ϱ, desgleichen zwischen den lezteren unter einander, welche ϱ' heifsen möge, angesehen werden, deren Richtung nach allen Seiten hin, folglich auch der Schwere entgegengesetzt seyn mufs, und von denen bei Körpern, welche in Flüssigkeiten eingetaucht sind, die leztere der ersteren allezeit entgegengesetzt ist. Die adhärirende Flüssigkeit wird daher an dem Umfange eines jeden eingetauchten prismatischen Körpers, und an den Wänden jedes Gefäfses aufsteigen, die nicht adhärirende aber herabgedrückt werden. Dabei ist indefs wohl zu bemerken, dafs es keine tropfbare Flüssigkeit giebt, deren Elemente nicht Anziehung unter einander und gegen alle feste Körper ausübten. Obgleich nämlich z. B. das Glas nicht durch Quecksilber benetzt wird, so hängen dennoch sehr kleine Kügelchen des lezteren an einer Spiegelscheibe so fest, dafs nicht blofs ihr ganzes Gewicht überwunden wird, sondern noch ein beträchtlicher Ueberschufs bleibt, indem sie selbst beim Umkehren der Scheibe nicht herabfallen, wenn man mit einiger Gewalt gegen die andere Seite derselben klopft, und das Benetzen oder nicht Benetzen ist also blofs eine Folge des Uebergewichtes der einen Kraft über die andere. Eine Flüssigkeit mufs daher in Gemäfsheit des Conflictes dieser wechselseitigen Anziehungen in den Gefäfsen eine concave oder eine convexe Fläche bilden. Bei einem in eine Flüssigkeit eingetauchten Haarröhrchen stände dieselbe nach statischen Gesetzen innen und aufsen gleich hoch. Weil aber das Anheben der Flüssigkeit sowohl von dem eingetauchten als auch dem hervorragenden Theile bewirkt wird, so ist die hierbei thätige Kraft $= 2\varrho$, und weil die Schwere derselben entgegenwirkt, so ist die Länge der gehobenen Säule $= \lambda$, die Dicke $= \delta$ und das specif.

Gewicht $= \gamma$ gesetzt $\lambda \delta \gamma = 2\varrho - \varrho'$, welcher Ausdruck sowohl für Capillar-Attraction, als auch für Depression gültig ist. Weil aber bei gleichen Flüssigkeiten die Anhebung über das Niveau eine Function der Fläche, mithin dem Radius $=$ r directe, die Schwere aber dem angehobenen Cylinder, also dem Quadrate des Radius proportional, der Anziehung aber entgegengesetzt ist, so wird für einen positiven oder negativen Werth $2\varrho - \varrho' = \frac{1}{r}$ seyn. Mithin ist die Höhe der gehobenen Säule dem Durchmesser umgekehrt proportional, sie ist halb so groſs zwischen zwei Platten, als in einer Röhre von einem Durchmesser, welcher dem Raume zwischen diesen Platten gleich kommt, sie ist bei gleichem Inhalte am kleinsten in cylindrischen Röhren u. s. w. Die Kraft der Anziehung ist dem Verhältnisse von $2\varrho - \varrho'$ und nicht dem spec. Gew. umgekehrt proportional, denn Wassser steht höher als Weingeist [1]).

Es gibt eine groſse Menge Erscheinungen, welche aus dem Gesetze der Adhäsion flüssiger Körper an feste folgen, und namentlich auch unter die Phänomene der Capillarität

[1]) Ueber die Theorie und die Erscheinungen der Capillarität s. Hook micrographia. obs. VII. Musschenbroek diss. phys. exper. de tubis cap. in diss. phys. 271. Weitbrecht com. Pet. VIII. 261 et IX 275. Gellert ib. XII. 243. Clairaut de la Figure de la terre. Par. 1743. Am ausführlichsten sind die Gesetze der Capillarität behandelt und durch die Versuche von Cavendish, Gay-Lussac, Hauy und Tremery erläutert durch La Place theorie de l'action capillaire Par. 1806. u. supplement. ib. 1807. S. G. XXV. 233. XXXIII. 1 bis 182. Faſslich dargestellt von Kries bei Gehlen IX. 104. Hauy und Tremery insbesondere stellten nach der Bekanntwerdung dieser Theorie eine Reihe von Versuchen an, um die Rechnungen von La Place zu prüfen, welche eben wie die von Gay-Lüssac s. Biot Traité. I. 441. so genaue Uebereinstimmung gaben, wie andere Physiker, z. B. G G. Schmidt s. Hand- und Lehrb. der Naturl. p. 274 auch bei der gröſsten Sorgfalt nicht erhalten konnten, und auch in der Wirklichkeit nicht zu erhalten sind, da schon die Individualität des Glases einen Einfluſs auf die Anziehung der Flüssigkeiten durch dasselbe hat. Es sind daher auch sowohl die Theorie als auch die Versuche von verschiedenen Gegnern mit triftigen Gründen angegriffen, unter denen Brunacci (in Brugnatelli Giorn. IX. 7 ff.) und Parrot (in: Ueber die Capillarität. Eine Kritik der Theorie des Grafen La Place u. s. w.) als die bedeutendsten genannt werden mögen. Als physikalisches Gesetz bleibt einmal ausgemacht, daſs die Phänomene der Capillarität eine Folge des Conflictes der Anziehungen, sowohl der Elemente der Flüssigkeiten unter sich als auch gegen die sie berührende Fläche der festen Körper sind. Eine ausführliche Kritik dieses Gegenstandes liegt auſser den Grenzen eines Handbuches.

gerechnet werden. Die Sache wird im Allgemeinen am meisten deutlich dadurch, wenn man eine, die Oberfläche des-Glases benetzende Flüssigkeit, z. B. Wasser in ein gemeines Glas giefst, und wahrnimmt, dafs dasselbe am Rande hinaufgezogen wird; Quecksilber dagegen, welches das Glas nicht benetzt, wird vom Rande abgestofsen, und so wie Ersteres eine concave Oberfläche bildet, zeigt Lezteres eine convexe. Steigt das Wasser im Glase so hoch, dafs sich die Fläche desselben über den Rand erhebt, so wird leztere gleichfalls convex. Kleine Glaskugeln, auf Wasser schwimmend, ziehen einander an, welches man sofort für eine Folge der zwischen ihnen aufsteigenden dünnen Wasserschichte erkennt; jedes einzelne Kügelchen aber wird, auf der concaven Fläche schwimmend, nach dem Rande hingezogen, auf der convexen aber von demselben abgestofsen, wovon die ähnliche Ursache durch die Erscheinung selbst klar wird.

Da das Quecksilber das Glas nicht benetzt, folglich die Kraft der Adhäsion seiner Elemente an einander stärker ist als an das Glas, so mufs es nicht blofs eine convexe Fläche in den Gefäfsen bilden, sondern auch in engen Röhren tiefer stehen, als das äufsere Niveau, welches man die Capillardepression nennt, und bei der Bestimmung der Barometerhöhe zu berücksichtigen hat. Es wird indefs sehr bald sichtbar, dafs hierbei zugleich Nebenbedingungen wirksam sind. Ist nämlich das Quecksilber feucht, so zeigt schon das Augenmafs ohne eigentliche Messung, dafs die Wölbung seiner Oberfläche stärker ist; reinigt und trocknet man dagegen das Quecksilber und das Innere der Röhre vollkommen, so wird seine Oberfläche ebener, und wird es in der Glasröhre selbst ausgekocht, so hängt es mit einer solchen Kraft an den Wänden desselben, dafs es sogar in einer bis 54 Z. langen Barometerröhre nicht eher als nach einiger Erschütterung herabfällt. Wird eine stark ausgekochte Barometerröhre, nachdem das Quecksilber durch Erschütterung derselben losgelassen hat, sogleich wieder geneigt, bis das Quecksilber sie wieder ganz füllt, so bleibt es abermals und bei der Widerholung noch einigemale hängen, jedoch mit stets abnehmender Stärke. Die Ursache hiervon liegt in der höchst innigen Verbindung, in welche das Metall mit den Glaswänden tritt. Je besser daher Barometerröhren ausgekocht sind, desto weniger wird die Oberfläche des Quecksilbers gewölbt seyn, und wenn die ganze eingeschlossene Säule des Metalles zugleich eine Zeitlang

im Sieden erhalten wurde, so wird die Oberfläche ganz eben, und die Capillardepression fällt weg, wie auch die Weite der Röhre seyn mag. Luft und Feuchtigkeit, deren lezte Antheile so schwer vom Quecksilber wegen der Stärke der Adhäsion zu entfernen sind, bedingen daher die Capillardepression. Ein Barometer, welches G. G. Schmidt seit vielen Jahren besitzt, dessen oberer Theil in drei Röhren von sehr ungleicher Weite ausläuft, zeigt evident, daſs durch hinlängliches Auskochen die Capillardepression gänzlich aufgehoben und eine ganz ebene Oberfläche des Quecksilbers erhalten werden kann, desgleichen daſs die Behauptung Daniell's, als ob die Luft mit der Zeit neben dem Quecksilber vorbei in das Torricellische Vacuum dringe, falsch sey. Aus diesem Grunde sind ferner alle die, nach La Place's Formel berechneten Capillardepressionen, bei denen bloſs die Weite der Röhren als Bedingung angenommen wird, unzulässig, und es lassen sich dieselben nur nach der im §. 53. mitgetheilten Tabelle berechnen [1].

Werden ferner zwei Spiegelglasscheiben mit ihren beiden Fig. 80] Seiten ab an einander gelegt, an den gegenüberstehenden Seiten dc aber um 0,5 bis 1 Lin. von einander entfernt, so nehmen die Zwischenräume von dc nach ab hin in einem gleichmäſsigen Verhältnisse ab, und in eben diesem müssen die angehobenen Wassersäulen zunehmen, wenn man die Scheiben bei cb mit Wasser in Berührung bringt. Die krumme Linie aαc, welche durch ihre zunehmende Höhe gebildet wird, ist eine Hyperbel, deren Asymptoten ab und bc sind. Bringt man nach Hawksbee zwischen zwei in einem spitzen Winkel gegen einander geneigte, vorher etwas befeuchtete, Glasscheiben einen Tropfen Orangeöl, so zieht sich dieser dahin, wo die Scheiben mehr genähert sind, selbst der Wirkung seiner Schwere entgegen [2]. Interessant ist die Beobachtung von Parrot [3], daſs Wasser in einer oben in ein Haarröhrchen auslaufenden Campane von beliebiger Weite so hoch gehoben wird, als es im Haarröhrchen selbst vermöge seiner Weite steigen würde. Wird ein Haarröhrchen zu einem Heber umgebogen, und mit seinem einen Schenkel in ein Glas mit

---

[1]) Eine Tabelle nach La Place's Formel, worin die Depressionen des Quecksilbers bloſs als Functionen des Durchmessers der Röhren berechnet sind, findet man in Ann. de Chim. et de Phys. XXII. p. 333.

[2]) Gilb. Ann. XXXIII. 102.

[3]) Theoret. Phys. I. 327.

Wasser gesenkt, so steigt lezteres so hoch, als der Weite des Röhrchens zukommt, das Wasser fängt an, aus dem andern Schenkel abzufliefsen, nachdem es über den Rand des Gefäfses gehoben ist. Hiermit lassen sich dann die Erscheinungen der Capillarität auf eine interessante Weise Fig. 81] anschaulich machen. Wird der aus einem Haarröhrchen verfertigte Heber acb, nachdem er gefüllt ist, mit dem einen Schenkel in ein Gefäfs mit Wasser getaucht, so steht dieses genau bis an das Ende b, wenn dieses in das Niveau der Flüssigkeit $\alpha\beta$ gebracht wird, und fliefst nicht, wenn man das Ende b so tief unter $\alpha\beta$ bringt, als wie hoch das Wasser in dem Haarröhrchen steigen würde. Kommt die Oeffnung b tiefer herab, so bildet sich zuerst an derselben ein Tropfen, welchen man willkührlich lange Zeit daselbst erhalten kann, und erst wenn man den Heber noch tiefer hinabsenkt, fängt er an zu fliefsen. Man kann aber das Ende b auch eben so hoch über das Niveau $\alpha\beta$ erheben, als das Wasser im Röhrchen steigt, ehe es rückwärts zu fliefsen anfängt.

Unter die Phänomene der Capillarität gehört ferner das Filtriren. Ist ein Filtrum mit Oel getränkt, so wird Wasser durch dasselbe nicht fliefsen, und ebenso umgekehrt. Uebrigens können durch ein Filtrum nur die gröberen Theile mechanisch zurückgehalten werden, welche dasselbe dann almälig verstopfen, und die von Cüchet und Smith angegebenen unveränderlichen Filtra (*filtres inalterables*) sind in der Ausführung unmöglich [1]; dagegen sind die von Pfaff in Vorschlag gebrachten Apparate zur Reinigung des trüben Wassers sehr zweckmäfsig. Sie bestehen aus Tonnen, welche mit abwechselnden Schichten von feinerem und gröberem reinem Kiessande und grob gepülverten Kohlen gefüllt sind, zu denen das trübe Wasser durch Badeschwämme herabsinkend gelangt, und gereinigt gleichfalls durch einen Badeschwamm in das Aufbewahrungsgefäfs abfliefst. Hierhin gehört ferner das Aufgesogenwerden der Flüssigkeiten durch lockere vegetabilische und thierische Stoffe, das Aufsteigen des Oeles in Dochten, des Wassers in geballeter Erde und die daraus folgende beständige Feuchtigkeit des Erdbodens. Die Kraft vereinter Haarröhrchen wird unglaublich grofs. Hieraus erklärt sich das Quellen des Holzes, wodurch sogar eiserne Bänder zerrissen werden, auch kann man Mühl-

[1]) Gilb. Ann. XXI. 179.

[2]) Wasserreinigungsmaschine. Kiel 1813.

steine zersprengen, wenn man in eine Oeffnung in denselben einen hölzernen Cylinder treibt, und diesen almälig befeuchtet. Das Aufsteigen der Säfte in lebenden Pflanzen wollte man gleichfalls aus der Capillaranziehung erklären; allein obgleich diese als Folge eines allgemeinen Naturgesetzes sich überall wirksam zeigen muſs, so genügt sie doch nicht zur Erklärung dieser Phänomene, wie schon einfach und unwiderleglich daraus hervorgeht, daſs in vielen Fällen der Saft aus abgeschnittenen Pflanzentheilen ausflieſst, was gegen die Haarröhrchen - Wirkung streitet, indem über die obere Grenze eines solchen keine Flüssigkeit der Natur der Sache nach gehoben werden kann. Einige Versuche, welche ich selbst im Jahre 1822 mit Wienreben angestellt habe, beweisen, daſs die Kraft, welche namentlich den Saft in Weinreben bis 21 par. F. über die abgeschnittenen Enden in aufgesetzten Glasröhren emportreibt, in den feinen Wurzelfasern ihren Sitz hat [1]). Die Thätigkeit der Muskeln mit Prohasca [2]) auf das durch Capillarität bewirkte Eindringen der Säfte in dieselben und dadurch erzeugte Anschwellung zurückzuführen, ist den hierüber bestehenden Gesetzen widerstreitend, um so mehr, da die durch Anspannung schwellenden Muskeln an Volumen abnehmen.

Daſs Nähnadeln auf Wasser schwimmen, gehört gleichfalls unter die Gesetze der Adhäsion. Um in Wasser unterzusinken müſste nämlich ihr Gewicht den Zusammenhang der Wasserpartikeln aufheben, wozu dasselbe zu geringe ist. Eine analoge Erscheinung bietet das Quecksilber dar. Ohngeachtet nämlich dasselbe vermittelst des Luftdruckes durch die Poren des härtesten Holzes gedrückt werden kann (§. 17), so läſst es sich dennoch in einem gemeinen Flore tragen, wobei man wahrnimmt, daſs die kleinen durch die Zwischenräume der Fäden hervordringenden halbkugelförmigen Partikelchen durch Adhäsion an der gröſseren Masse zurückgehalten werden. Bringt man sie mit einer Fläche Quecksilber in Berührung, so beginnt das Durchlaufen augenblicklich. Auf das Anhängen des Wassers an der rauhen Oberfläche der Seile gründete Vera die nach ihm benannte Seilmaschine. Ein bloſses Seil, am besten ein mit Pferdehaaren durchflochtenes und dadurch mit rauher Oberfläche versehenes, wird um eine Rolle geschlungen, und diese vermittelst eines Gewichtes in das Wasser herabgelassen. Oben

---

[1]) Schweigg. Journ. d. Chem. 1823.

[2]) S. Rudolphi Physiolog. II. 308.

geht dasselbe als Schnur ohne Ende um eine Rolle, welche schnell umgedrehet wird, so daſs es sich mit groſser Geschwindigkeit aus dem Wasser in die Höhe bewegt, und einen ihm adhärirenden hohlen Wassercylinder mit sich fortreiſst. Bei der Bewegung um die obere Rolle wird lezterer durch die Wirkung der Schwungkraft in einen Behälter geschleudert, und aus diesem läuft dann das Wasser ab. Nach Gehlen hob bei einer Maschine dieser Art ein Strick vom 21 Lin Umfang in 7,75 Minuten 250 Pinten Wasser zu 63 F. Höhe, und sie leistete also viel; auch hat Benzenberg Vorschläge gethan, sie noch wirksamer zu machen [1]), welchem jedoch der Umstand im Wege steht, daſs alle zu den Seilen brauchbare Substanzen der Vermoderung im Wasser ausgesetzt sind.

Unter die Adhäsionsphänomene, bei denen jedoch chemische Verwandtschaften zum Theil ins Spiel kommen, gehören auch die kalten Versilberungen und Vergoldungen, wovon ich hier die ersteren so viel mehr beschreibe, da sie bei physikalischen Apparaten so oft in Anwendung kommen. Man bereitet sich zu diesem Ende zuerst das zur Versilberung dienende Pulver auf folgende Weise. Ein halbes Loth reines Silber (Vierthelkronen oder Vierthel - Laubthaler) wird in 1 Loth sogenanntem doppelten Scheidewasser aufgelöset, die Auflösung in $\frac{1}{2}$ Maſs Regenwasser gegossen und abgeklärt, dann $\frac{1}{2}$ Eſslöffel voll Kochsalz zugethan, wodurch ein weiſser Niederschlag entsteht, welchen man dem Tagslichte nicht aussetzen muſs. Man gieſst dann die Flüssigkeit vom Bodensatze ab, kann auch noch einmal eben so viel Wasser zugieſsen, und nach dem Setzen wieder abgieſsen. Ist der Bodensatz im Dunkeln und in gelinder Wärme getrocknet, so mischt man 2 Loth cremor tartari, $\frac{1}{2}$ fein gepulverte Kreide und einen guten halben Eſslöffel voll Kochsalz zu, und hebt das Pulver im Dunkeln auf. Das zu übersilbernde Metall, wozu sich Kupfer besser als Messing eignet, wird dann bis zur Politur geebnet, mit etwas Salzwasser benetzt, und dann trägt man ein wenig des Pulvers auf, reibt es bloſs mit dem Finger ein, wäscht das hierdurch versilberte Stück in reinem Wasser ab und trocknet es mit reiner Leinwand Auf diese Weise werden insbesondere die Thermometer-, Barometer- und andere Skalen u. s. w. versilbert.

---

[1]) Voigt Journ. VI. 511.

Obgleich die Elemente der tropfbaren Flüssigkeiten sich ohne merklichen Widerstand verschieben lassen, worin eben das Wesen des Fliefsens besteht, und das Hingleiten derselben über einander ohne mefsbare Kraft bewerkstelligt werden kann, so hängen sie doch mit bedeutender Stärke an einander, wie man schon daraus ersieht, dafs die durch eine dünne, aber dennoch leicht in zwei Hälften trennbare Schichte einer Flüssigkeit verbundenen Adhäsionsplatten ein grofses Gewicht erfordern, um losgerissen zu werden. Rumford [1]) hat insbesondere den innigen Zusammenhang der Theile des Wassers durch die Phänomene nachzuweisen gesucht, dafs er kleine Quecksilberkügelchen, Nähnadeln u. dgl. durch eine Schichte Aether, oder Oel auf eine darunter befindliche Wasserschichte fallen liefs, und beobachtete, dafs sie an der Grenze beider Flüssigkeiten liegen blieben. Das Phänomen ist allerdings merkwürdig, und beweiset einen starken Zusammenhang der Wassertheilchen untereinander und überwiegend über den verschiedener anderer Flüssigkeiten; wenn aber Rumford zugleich folgert, dafs deswegen der Sturmwind das leichtere Wasser nicht in der Art über ganze Landstrecken fortführe, als den viel schwereren Sand, so liegt die Ursache hiervon zugleich darin, dafs jedes Sandkorn ohne Adhäsion an die Masse von einem Orte zum andern fortgestofsen wird und an jedem durch den Einflufs der Reibung einstweilen bis zur weiteren Fortbewegung liegen bleiben kann. Unter die interessanten Phänomene gehört ferner das Fortrollen einzelner Tropfen, namentlich des Wassers und Weingeistes, auf den Flächen gleichartiger Flüssigkeiten. Man bemerkt dieses beim Filtriren, wenn einzelne Tropfen herabfallen, insbesondere aber wenn beim Schlage der Ruder zahlreiche Mengen von Tropfen verschiedener Gröfse über die ebene Wasserfläche hinrollen. Sie durchlaufen nicht selten mehrere Zolle, ja über einen Fufs, und sind nicht hohl, wie es zuweilen den Anschein hat, sondern massiv. Die Ursache liegt hauptsächlich darin, dafs die kugelrunden Tropfen mit der ebenen Fläche nur in einem Puncte in Berührung kommen, und zur Erhaltung mehrerer Berührungspuncte entweder selbst ihre Form ändern, oder die ebene Wasserfläche eindrücken müssen. Dabei wirkt ohne Zweifel die beide begrenzende Luft mit [2]).

---

1) Gilb. Ann. XXV. 121.

2) Guyton Morveau in Mém. de l'Acad. 1788. p. 511.

Verschiedene Flüssigkeiten gehen eine sehr enge Verbindung unter einander ein, meistens mit Verminderung des Volumens und Erhöhung der Temperatur, z. B. Wasser und Weingeist, Wasser und Säuren u. s. w. Bei andern scheint die Verbindung weniger innig zu seyn, weil sie nur bis zu gewissen Verhältnissen statt findet, z. B. bei Wasser und Aether. Noch weniger innig, und der Adhäsion tropfbarer Flüssigkeiten an feste Körper, welche sie nicht benetzen, ähnlich ist die Verbindung anderer, welche sich in gröfseren Massen nicht vermischen, z. B. Oel und Wasser, Quecksilber und Wasser, die Substanzen, welche das Elementenglas bilden u. a. Ohngeachtet die nicht erfolgte Verbindung ihrer, durch Schütteln gemengten Theile aus der verschiedenen Brechung des Lichtes sichtbar wird, breitet sich doch ein Tropfen Oel, Euphorbiensaft u. dgl. über eine grofse Fläche Wasser aus, ein zweiter aber schwimmt auf derselben [1]).

Das Bestreben tropfbarer, starke Anziehung zu einander zeigender, Flüssigkeiten, sich zu verbinden wird insbesondere durch einen interessanten Versuch sichtbar, welchen Parrot [2]) angegeben hat. Wenn man ein Opodeldockglas von etwa 2 bis 3 Z. Höhe mit Alkohol bis ganz an den Rand füllt, dann eine vorher im Wasser stark benetzte Rindsblase fest darüber bindet, so, dafs sie die Fläche der Flüssigkeit wo möglich ganz berührt, dann das Ganze einige Stunden in einem Glase mit Wasser ganz untertaucht, so erhält die Blase eine stark gewölbte Oberfläche, und ist auf eine solche Weise angespannt, dafs die Flüssigkeit mehrere Fufse in die Höhe springt, wenn man die Blase mit einer Nähnadel durchsticht. Dafs dieses erfolgt, ohngeachtet man weder Wasser noch Weingeist vermittelst mechanischer Gewalt durch die Rindsblase pressen kann, hat darin seinen Grund, dafs der Weingeist dem ihm zunächst liegenden Theilchen das Wasser entzieht, welches hiernach also trocken werden müfste, indem es vorher benetzt den Weingeist weniger gern annimmt und überhaupt minder leicht von diesem genetzt wird. Es geht daher wieder Wasser von dem zunächst liegenden Theilchen an dasselbe über, und so fort, bis der Weingeist eine Menge Wasser von aufsen her in sich aufgenommen hat. Diesen Erscheinungen

---

[1]) Carradori in Gilb. Ann. XII. 108. Vergl. Link ebend. XXVI. 146.

[2]) Theoret. Phys. II. 381.

ähnlich sind die durch Sömmerring [1]) beobachteten Erscheinungen, daſs wässeriger Weingeist durch die über die Präparatengläser gebundenen Thierblasen verdunstet, sehr reiner dagegen Wasser aus der Atmosphäre anzieht, weswegen das Volumen des ersteren vermindert, des lezteren vermehrt wird. Bindet man nach N. W. Fischer [2]) und Bischof [3]) über das offene Ende einer Glasröhre eine Thierblase, gieſst eine Flüssigkeit hinein, und setzt sie in ein Glas mit einer verwandten Flüssigkeit, so werden sich beide mischen; z. B. wenn man in die erstere Salzwasser, in das andere Süſswasser gieſst, so ist nach einiger Zeit das Wasser in beiden gesalzen, auch steigt oder fällt unter geeigneten Bedingungen die Flüssigkeit in der Röhre über oder unter das Niveau der im Gefäſse befindlichen. Bindet man über einen an beiden Seiten offenen gläsernen Cylinder eine Thierblase, gieſs eine Solution von essigsaurem Blei (Bleizucker) hinein und stellt ihn auf eine Zinkplatte, so dringt etwas Wasser hindurch, und auf der inneren Seite der Blase setzen sich Blättchen regulinischen Bleies fest. Auf eine ähnliche Weise lehrte Sömmerring [4]) den Brandwein entwässern. Wird nämlich eine Rindsblase von ihrem Fette gehörig gereinigt, mit einer Auflösung von Hausenblase überzogen, getrocknet, mit Brandwein gefüllt und an einem warmen, trockenen Orte aufgehangen, so verdunstet das Wasser almälig und der Brandwein wird rectificirt, so daſs er bis 95 p C. reinen Alkohol's enthält.

Auch die elastischen Flüssigkeiten werden vermöge der Adhäsion sowohl von festen als tropfbaren Flüssigkeiten aufgenommen; beide Erscheinungen bezeichnet man mit dem eigenthümlichen Ausdrucke der Absorption. Um von den Resultaten der vielen durch Saussure, Dalton, Parrot u. a. angestellten Versuche nur einiges aufzunehmen, möge hier bemerkt werden, daſs unter den festen Körpern namentlich die Buchsbaumkohle eine auſserordentlich starke absorbirende Kraft besitzt. Sie nimmt von Ammoniakgas 90 mal, von kohlensauren 35 mal, von Sauerstoffgas 8 mal, von Wasserstoffgas 1,75 mal ihr Volumen auf. Ist sie in einem Gase gesättigt, und wird in ein anderes gebracht, so giebt

1) Münchener Denksch. 1811 u. 12. p. 273. 1814 u. 15 p. 137. 1818—20. p. 245.

2) Gilb. Ann. LXXII. 289.

3) Schweigg. Journ. N. F. VI. 119.

4) Geiger Magaz. für Pharmacie. X. 43.

sie von ersterem ab und nimmt ein Aequivalent von lezterem auf. Im luftleeren Raume, durch Glühen und durch Untertauchen im Wasser entweicht ein Theil, aber nicht alles Gas. So wie die Kohle mehr Sauerstoffgas als Stickgas aufnimmt, absorbirt dagegen Meerschaum mehr Stickgas als Sauerstoffgas, und im Allgemeinen finden bestimmte Gesetze der Mengen statt, welche von den verschiedenen Körpern verschluckt werden. Bekannter und ohne Versuche oft beobachtet sind die Verbindungen der gasförmigen Körper mit tropfbar flüssigen. Wasser, welches längere Zeit dem Zugange der Luft ausgesetzt war, nimmt eine Menge Luft in sich auf, wovon man einen Theil frei werden und an den Wänden der Gläser sich ansetzen sieht, wenn man dasselbe in den Sonnenstrahlen erwärmt werden läfst, noch mehr durch Erhitzen oder durch Wegnahme des Luftdruckes. Insbesondere wird die Kohlensäure in Menge und leicht verschluckt, und giebt dann einigen Wassern, namentlich den sogenannten Sauerbrunnen, dem Biere, dem Champagner-Weine und anderen gegohrenen Getränken einen angenehmen, säuerlichen Geschmack. Die stärkste Verbindung rücksichtlich der aufgenommenen Menge einer Gasart zeigt sich in der durch Thenard entdeckten Wasserstoffsäure, oder dem Wasserstoffhyperoxyd, einer Verbindung von Sauerstoff mit Wasser, wobei die Menge des in der Flüssigkeit enthaltenen Sauerstoffgases bis zum 475 fachen Volumen steigt. Das spec. Gewicht dieser farblosen, durchsichtigen Flüssigkeit beträgt 1,452, und sie zeigt zugleich die merkwürdige Eigenschaft, dafs bei der Berührung mit vielen, vorzüglich fein pulverisirten Körpern das Sauerstoffgas mit grofser Heftigkeit und unter Ausscheidung von Wärme entweicht [1]. Merkwürdig ist bei allen Verbindungen gasförmiger Körper mit tropfbaren Flüssigkeiten, dafs erstere der Natur ihrer Expansion zuwider in einen so geringen Raum gebracht werden; denn es wird zwar das Volumen der Flüssigkeiten durch das Hinzukommen derselben etwas vermehrt, allein keineswegs im Verhältnisse des Volumens der damit verbundenen Gase, und man darf daher annehmen, dafs leztere hierdurch in einen nahe 800mal kleineren Raum gebracht werden. Hiermit nicht wohl vereinbar und deswegen schwer zu erklären ist der Umstand, dafs sie bei weggenommenem Luftdrucke wieder entweichen, und indem sie sich

[1]) Mém. de l'Acad. 1815. T. III. p. 435. Ann. de Chim. et de Phys. VIII. 306.

in der Flüssigkeit selbst zu Bläschen bilden, schon in diesen ihre Expansion wieder erhalten [1].

Ueber die mechanischen Gesetze, welche bei den Mengungen der verschiedenen gasförmigen Flüssigkeiten in Betrachtung kommen, ist schon §. 55. gehandelt. Weil sie sich wechselseitig zum Theil mit grofser Kraft anziehen, so kann man sie in Thierblasen, in Schläuchen von gefirnifstem Wachstaffent und in andern Hüllen nicht für längere Zeit aufbewahren, obgleich sie, eben wie die tropfbaren Flüssigkeiten, vermittelst mechanischer Gewalt nicht durch dieselben geprefst werden können, ohne sie zu zerreifsen. Füllt man z. B. eine Thierblase, auch die möglichst dicke, mit Sauerstoffgas, so wird nach einigen Tagen atmosphärische Luft von kaum merklichem Ueberschusse an Sauerstoffgas darin enthalten seyn. Manche innige Mischungen gasförmiger Flüssigkeiten, welche zuweilen hierdurch tropfbar flüssig werden, gehören in das Gebiet der Chemie [2].

§. 70.

Einige Körper, wenn sie in kleinen Theilchen sich in einer solchen Lage befinden, dafs sie sich ohne mefsbare Reibung leicht bewegen können, namentlich kleine Partikelchen Kampfer auf Wasser, zeigen eine hinsichtlich der Richtung und Schnelligkeit verschiedene, im allgemeinen sehr schnelle Drehung, welche mir gleichfalls von einer ungleichen Anziehung ihrer Hervorragungen gegen die sie berührenden Flüssigkeiten herzurühren scheint, weswegen sie den Adhäsionserscheinungen vorerst mögen angereihet werden.

Das fragliche Phänomen kannte man lange, und es wurde hauptsächlich durch Lichtenberg, Volta, Caldani und Prevost beobachtet und untersucht [3]. Legt man auf eine dünne über eine Glasscheibe ausgebreitete Schichte Wasser ein Stückchen Kampfer, etwa eine Cub. Lin. grofs,

---

1) S. Dalton N. Syst. d. chem. Th. der Naturw. übers. von Wolf. I. 223. Saussüre in Gilb. Ann. XLVII. 113. Vergl. Gehler Wörterb. Art. Absorpt.

2) Vergl. Gay-Lüssac. in Mém. d'Arcueil. II. 207. Gilb. Ann. XXXVI. 6.

3) S. Biot Extrait des Recherches de Ben. Prevost et de quelques autres Physiciens sur le mouvement des substances odorantes placées sur l'eau: in. Soc. Phil. an IX. p. 42. Gilb. Ann. XXIV. 147.

so verdrängt dieses das Wasser von der Glasscheibe. Ist aber auf einem Teller eine tiefere Wasserschichte von etwa ½ Zoll gegossen, und man wirft ganz kleine Stückchen Kampfer darauf, so gerathen diese in eine sehr schnelle, nach allen Seiten hin gerichtete Drehung; läſst man aber nur einen Tropfen Oel darauf fallen, so verbreitet sich dieser sofort über die ganze Fläche, und die Bewegung hört plötzlich ganz auf. Die genannten Physiker nebst Draparnaud, Serüllas [1]) u. a. suchen die Ursache in einem aus dem Kampfer ausströmenden, den Geruch desselben erzeugenden, expansibelen Fludium, wonach also das Phänomen unter die Klasse derjenigen gehören würde, welche § 57 als Folgen der Reaction beim Ausströmen gasförmiger Flüssigkeiten erwähnt sind. Diese Erklärung wäre die leichteste, und Serüllas sucht sie insbesondere dadurch zu unterstützen, daſs die Alliagen von Potassium ähnliche Bewegungen als Folge des ausströmenden Wasserstoffgases zeigen. Es steht indeſs als unübersteigliches Hinderniſs entgegen, daſs nach den Versuchen von Venturi [2]) und von mir [3]) der Kampfer durchaus kein expansibeles Fluidum entwickelt, dessen Elasticität auch nur im torricellischen Vacuo im mindesten wahrnehmbar wäre. Brugnatelli [4]), hauptsächlich Carradori [5]), Parrot [6]), Link [7]) u. a. suchen die Ursache dagegen in den öligen Theilen, welche der Kampfer dem Wasser mittheilt, weswegen die Erscheinung ausbleibt, sobald als eine dünne Schichte Oel über das Wasser verbreitet ist. Aehnliche Bewegungen des Kampfers, auch des Phosphor's, zeigen kleine Stückchen auf einer Fläche reinen Quecksilbers, hören aber auf, sobald sich ein kaum wahrnehmbares Häutchen dieser Substanzen darauf gebildet hat. Daſs sich etwas von der Substanz des Kampfers dem Wasser mittheile, geht schon aus dem Geruche hervor, welchen dasselbe von ihm annimmt, auch wird er da, wo ihn die Oberfläche des Wassers berührt, am stärksten verzehrt. Indem also hieraus und aus der Bildung des feinen Häutchens auf der Oberfläche des Quecksilbers

---

1) Journ. de Phys. XCI. 185.
2) Ann. de Chim. et de Phys. XXI. p. 262.
3) Physikal. Abh. Gieſs. 1816. p. 441.
4) v. Crell chem. Ann. 1788. I. 407. 1794. II. 214.
5) Brugnatelli Giorn. IX. 124.
6) Theor. Phys. I. 83.
7) Gilb. Ann. XXIV. 128. XXVI. 115.

eine Adhäsion folgt, die Anziehungen aber auf die ungleichen Hervorragungen nach verschiedenen Richtungen excentrisch wirken, so lassen sich die Phänomene auf die angegebene Weise sehr gut aus den Adhäsionsgesetzen erklären.

Aus gleichen Gründen reihe ich hier die analogen Erscheinungen an, welche Runge [1]) entdeckt hat. Wenn man in ein grofses Uhrglas oder ein ähnliches geeignetes Gefäfs eine Lage reines Quecksilber einige Lin. hoch schüttet, hierüber bis zu einer Linie hoch Salzwasser giefst, dann kleine Stückchen Kupfervitriol hineinwirft, so schmelzen diese, und überziehen das Quecksilber mit einem sichtbaren Häutchen. Senkt man demnächst einen Eisendraht durch die Flüssigkeit in das Quecksilber, so wird die schon gebildete Haut von lezterem mit grofser Energie angezogen, und die kleinen Theilchen Kupfervitriol gerathen in starke drehende Bewegungen. Das Angezogenwerden des Häutchens und also auch desjenigen, welches sich in jedem Augenblicke neu bildet, deutet schon unwidersprechlich auf eine mechanische Bewegung. Andere Gelehrte wollen das Phänomen für ein galvanisches halten, allein die allerdings durch Herschel, Erman, de la Rive u. a. beobachteten Strömungen des Quecksilbers erfordern einen starken elektrischen Strom, und scheint mir die zwischen den vereinten heterogenen Substanzen erregte galvanisch-elektrische Thätigkeit zur Erzeugung jener mechanischen Bewegungen viel zu schwach, auch bewegt sich wirklich weder das Quecksilber noch das Wasser, sondern blofs das über dem Quecksilber sich verbreitende Häutchen, welches sich nach dem Eisendrahte hinzieht, und diesen bedeckt, während von den kleinen Partikelchen des Kupfervitriols stets ein neues gebildet wird.

§. 71.

Als eine höchst merkwürdige und sehr allgemeine Wirkung der Attractionsgesetze läfst sich das Bestreben der Elemente vieler Körper ansehen, unter der Bedingung einer in hohem Grade freien Beweglichkeit eine regelmäfsige Gestalt anzunehmen. Bei den unbelebten Körpern zeigt sich dieses in der Krystallbildung, deren Formen nicht ohne hohe Wahrscheinlichkeit aus den

---

[1]) Poggendorf Ann. der Phys. LXXXIV. 106.

Gestalten und eigenthümlichen Attractions-Gesetzen der Elemente abgeleitet werden, bei den belebten Körpern lassen sich die minder regelmäfsigen Gestaltungen nicht mit gleicher Bestimmtheit und kaum überall hierauf zurückführen.

Die nothwendigste Bedingung der Krystallisation ist gröfstmögliche Beweglichkeit der Elemente. Daher werden die meisten und schönsten Krystalle in flüssigen Medien gebildet, wenn sie eine hinlängliche Zeit ruhig stehen. Merkwürdig sind die durch Verdunstung enstehenden Krystalle des Kampfers [1]). Geschmolzene Metalle werden durch ihre Dickflüssigkeit gehindert, zeigen aber doch oft krystallinische Textur und Gestalt, als Eisen, Wismuth, Spiesglanz, Zink, Gold nach Mussin-Puschkin [2]), und auch die Meteorsteine, woraus auf ihre frühere Flüssigkeit geschlossen werden hann. Dafs bei der Krystallbildung das Bestreben der Verbindung gleichartiger Theile (Anziehung) vorzüglich thätig sey, beweiset unter andern Beaume's Versuch, wonach aus einer Lösung von 2 Th. Salp. und 3 Th. Glaubersalz in warmen Wasser, wenn sie in zwei Gläser vertheilt und in Eis abgekühlt wird, durch einen hineingeworfenen kleinen Krystall des einen und des andern Salzes, im einen blofs Glaubersalz, im andern blofs Salpeter krystallisirt. Noch merkwürdiger ist, dafs völlig ruhig stehendes Wasser bis tief unter den Gefrierpunct erkaltet und erst nach erfolgter Bewegung in Eis verwandelt wird. Analog, aber noch räthselhafter ist, dafs Glaubersalzlösung (51 Th. kryst. Glaubersalz und 49 Th. Wasser), im Sieden bereitet, im Vacuo nicht krystallisirt, oft sogar nicht nach dem Schütteln oder dem Zutritte der Luft, bis irgend ein Körper dieselbe berührt [3]). Mir scheint die Aetiologie darin zu liegen, dafs durch Verdunstung oder die hineingeworfenen Körper einem Theile etwas Wasser entzogen und dadurch die Bildung des ersten Krystalles eingeleitet wird [4]).

Nach Hauy giebt es gewisse Grundformen der Krystalle, nämlich das Tetraeder, Octaeder, vier- und sechsseitige Prisma, das Rhomboidal-, Pentagonal- und Bipyramidal-

---

[1]) S. meine phys. Abh. p. 404.
[2]) Tromsd. Chem. IV. 4.
[3]) Schweigg. Journ. IX. 70. XV. 157. u. 231. u. a. a. O. Boyle Exper. Physico-mech. Cont. II. art. XI. exp. 2. p. 390.
[4]) Etwas hiervon verschieden ist die Erklärung Gay-Lüssac's a. a. O.

Dodecaeder und Icosaeder, und molecules integrantes, nämlich Tetraeder, dreiseitiges Prisma und Parallelopipedon [1]). Andere Gelehrte, z. B. Seeber [2]), sind nicht geneigt, gewisse Grundformen der Körperelemente anzunehmen, sondern haben es versucht, die verschiedenen Krystallformen aus der ungleichen Aggregation der kugelförmigen Atome abzuleiten. Obgleich dieses allerdings möglich und der deswegen gemachte Versuch sehr wohl gelungen zu nennen ist, so steht doch unleugbar das Argument sehr entgegen, dafs nicht zugleich nachgewiesen ist, warum die Grundformen der Krystalle bei den verschiedenen Körpern stets die nämlichen sind. Hauy's Hypothese erklärt in dieser Hinsicht ungleich leichter, und wird hauptsächlich auch durch das Argument unterstützt, dafs gewisse Krystalle, namentlich Kalkspath, wie sehr man sie auch verkleinert, stets die nämliche Gestalt beibehalten

Die Regelmäfsigkeit und Gleichmäfsigkeit der Formen im Thierreiche, z. B. der Federn, Schuppen der Fische und der Schmetterlingsflügel [3]), im Pflanzenreiche z. B. der Blüthen und Blätter [4]), ist auf gleiche Weise schön und bewundernswürdig, aber weniger einfach und nicht gleich sicher und leicht auf bestimmte Formen reducirbar.

§. 72.

Die dritte, gleich wichtige Modification der Attractionsgesetze zeigt sich in der chemischen Verwandtschaft. Hierher gehören alle Arten von Mischungen, die Lösungen und Auflösungen, wobei man die Sättigung und Neutralisation unterscheidet; die vielfach modificirten Verwandtschaften und Wahlverwandtschaften, unter denen die einfache, die doppelte, die vielfache, von einigen auch die aneignende und disponirende unterschieden werden. Insbesondere merkwürdig ist der Einflufs der Inponderabilien auf die gesammten Verwandtschaftsgesetze, wobei es fraglich bleibt, ob

---

1) S. Hauy in traité de mineralogie. T. I. princ. übers. von Karsten. I. 59. Vergl. Hausmann de relatione inter Corp. nat. anorg. indoles chem. et ext. Gött. 1813.

2) Gilb. Ann. LXXVI. 229.

3) S. Lichtenberg verm. Schr. IV. 432.

4) S. Vieth in Gilb. Ann. LIII. 225.

sie auf die Ponderabilien blofs disponirend wirken, wie mindestens sehr wahrscheinlich ist, oder mit denselben wirkliche Verbindungen eingehen, in welchem Falle ihnen die Materialität nicht abzusprechen wäre. Durch die neuesten Erweiterungen der Wissenschaft ist nicht blofs die Menge der Erfahrungen, welche diese Frage betreffen, vermehrt, sondern insbesondere auch das Gesetz der constanten Verhältnisse des Quantitativen der verbundenen Elemente dargethan.

Beispiele der Mengung geben Quarz, Glimmer und Feldspath im Granit; Kreide und Bleiweifs; Wasser und Quecksilber; Kohlensäure und Luft. Der Mischung, Eisen und Schwefel im Schwefeleisen; Wasserstoff und Sauerstoff im Wasser; Stickstoff und Wasserstoff im Ammoniakgas. Dafs der Unterschied eines Gemenges und eines Gemisches oft schwer zu bestimmen und überhaupt die Grenze zwischen beiden nicht scharf zu ziehen seyn müsse, folgt schon daraus, dafs die Natur überall solche abgeschlossene Classificationen nicht kennt. Lösungen und Auflösungen setzen den Zustand der Flüssigkeit des Menstrui voraus, und werden als einfache und zusammengesetzte unterschieden. Dahin gehören die Verbindungen der Salze mit Wasser, der Metalle mit Säuren u. a. m. Der Sättigungspunct findet bei einigen Verbindungen, z. B. Wasser und Weingeist; Wasserstoffgas und Stickgas, gar nicht statt, bei manchen ist er von der Temperatur sehr abhängig; der Neustralisationspunct kommt fast ausschliefslich bei der Verbindung von Säuren und salzfähigen Basen vor.

Die Verwandtschaftsgesetze zeigen sich sowohl hinsichtlich der auflösenden Kraft der verschiedenen Flüssigkeiten, als auch durch die eigenthümlichen Verbindungen der verschiedenen aufgelöseten Substanzen. Unter das Erstere gehört der verschiedene Grad der Lösbarkeit oder Unlösbarkeit der Körper in den Flüssigkeiten. Als Beispiele für das Leztere dienen

1) für einfache Wahlverwandtschaft die Scheidung des Harzes aus Weingeist durch Wasser, des Quecksilbers aus dem Zinnober durch Eisen u. a.

2) für doppelte Wahlverwandtschaft die wechselseitige Verbindung der Bestandtheile bei der Vermischung von schwefelsaurem Natron mit salzsaurem Kalk; des schwefelsauren Quecksilbers mit salzsaurem Natron.

3) für vielfache Wahlverwandtschaft die Bildung von essigsaurem Kali, Schwefelblei und Wasser bei der Vereinigung von essigsaurem Bleioxyd und Schwefelwasserstoff-Kali.

4) für aneignende Verwandtschaft die Verbindung des Fettes mit Wasser durch Alkali.

5) für disponirende Verwandtschaft die Bildung des Wassers durch Einwirkung der Schwefelsäure auf vegetabilische Körper.

Ob die Inponderabilien als materielle Substanzen zu betrachten sind, welche Verbindungen mit den Ponderabilien eingehen, ist schwer zu entscheiden Indeſs läſst sich nicht leugnen, daſs die Phänomene allerdings die Erklärung zulassen. Die Dämpfe und mehrere Gasarten entstehen erweislich aus einer Verbindung der Wärme mit den verschiedenen Grundlagen, und selbst eine mechanische Compression bewirkt die Trennung. Wasser läſst sich ansehen als Eis in Wärme aufgelöset [1]), welches auf alle Schmelzungen anwendbar ist. Der chemische Einfluſs des Lichtes läſst sich weniger auf die Gesetze der Verwandtschaft zurückführen (S. Licht §. 98), leichter aber die Zerlegung des Wassers durch Elektricität.

Die vorzüglichste Erweiterung der Chemie wurde in den neuesten Zeiten durch die Lehre von den festen Proportionen gegeben, welche im Widerspruche mit der frühern Ansicht, daſs die verschiedenen Stoffe in willkührlichen Mengen gemischt werden könnten, hauptsächlich auf folgenden, für Mischungen im strengsten Sinne, nicht aber für Gemenge geltenden Sätzen beruhet.

1) Einige Stoffe verbinden sich nur in einem einzigen Verhältnisse, z. B. 100 Sauerstoff mit 13,2 Wasserstoff; 440 Chlor mit 13,2 Wasserstoff [2]).

2) Die verschiedenen Verbindungen, welche die meisten Körper eingehen, und welche durch deutliche Kennzeichen unterschieden werden können, bestehen aus einer einfachen Quantität der einen und einer vielfachen Quantität der andern der vereinigten Substanzen. Es ist demnach $c = a + b$; $c' = a + 1{,}5b$; $c'' = a + 2b$; $c''' = a + 2{,}5b$; $c'''' = a + 3b$;

---

1) S. van Mons theorie de la combustion. Bruxelles 1802. 122.

2) Diese Anomalie, daſs sich der Wasserstoff mit dem Sauerstoff bloſs in einem Verhältnisse verbindet, würde wegfallen, wenn nach Lampadius das Chlor nicht einfach wäre. S. dessen neue Erfahrungen im Gebiete der Chemie und Hüttenkunde. Bd. II. S. 25.

u. s. w., wobei jedoch das arithmetische Verhältnifs des Coefficienten von b verschieden ist. Z. B. 1300 Blei mit 100 Sauerstoff im gelben, mit 150 Sauerstoff im rothen, mit 200 Sauerstoff im braunen Oxyd. 179 Stickstoff mit 100 Sauerstoff im Stickstoffoxydul, mit 200 Sauerstoff im Salpetergas, mit 300 Sauerstoff im acide pernitreux [1]), mit 400 Sauerstoff in der salpetrigen Säure, mit 500 in der Salpetersäure.

3) Wenn a mit 3b eine feste Verbindung liefert, und 3b mit 8c, so erhält man aus a mit 8c gleichfalls eine feste Verbindung; z. B. 13,2 Wasserstoff geben mit 100 Sauerstoff Wasser; 100 Sauerstoff mit 75,4 Kohlenstoff Kohlenoxydgas, mithin geben 13,2 Wasserstoff mit 75,4 Kohlenstoff ölerzeugendes Gas. Oft mufs aber a oder 8c mit $1\frac{1}{2}$; 2; $2\frac{1}{2}$; 3 oder andern ganzen Zahlen multiplicirt werden.

Die Chemiker nehmen daher an, dafs dieses Gesetz in gewissen Gröfsenverhältnissen der constituirenden Bestandtheile gegründet sey, welche leztere Atome, Massentheilchen, chemische Aequivalente, Gewichtsverhältnisse, Mischungsgewichte u. s. w. genannt werden. Alle diese Ausdrücke bezeichnen dem Wesen nach das Nämliche, und zwar dasjenige, was man in älteren Zeiten Atome, oder untrennbare Elementartheilchen der Körper nannte, woraus folgt, dafs die jetzige Chemie im strengsten Sinne atomistisch ist. Merkwürdig ist dabei, dafs man den Atomen eine zwar nur verhältnifsmäfsig, aber doch ganz eigentlich verschiedene Gröfse beilegt, so dafs also hiernach die unendliche Theilbarkeit der Materie von selbst ausgeschlossen wird, ja die oben §. 16. mitgetheilte Beobachtung Döbereiner's führt unmittelbar auf eine ungleiche Gröfse der Atome. Bei der Annahme der ralativ ungleich grofsen Mischungsgewichte der einfachen Substanzen lassen es die Chemiker übrigens unentschieden, ob die schwereren zugleich eine verschiedene Ausdehnung oder nur ein ungleiches Gewicht haben, eine physikalisch sehr wichtige, aber durch die bis jetzt bekannten Mittel noch nicht zu entscheidende Frage. Als Regel läfst sich zugleich annehmen, dafs diejenigen einfachen Stoffe, welche am schwersten in Gasform darstellbar sind, auch die gröfsten Mischungsgewichte haben. Welches Mischungsgewicht bei den relativen Gröfsenbestimmungen übrigens als Normal-Einheit anzunehmen sey, ob das des Wasserstoff nach Dalton und Davy oder das des Sauer-

1) Ann. de Chim. et Phys. I. 394.

stoff nach Wollaston und Berzelius scheint bis jetzt noch willkührlich [1]).

Berthollet[2]) stellte die Hypothese von der chemischen Masse auf, deren Hauptsätze folgende sind [3]):

1) Alle Körper haben Affinität gegen einander, deren Aeufserung indefs durch überwiegende Cohäsion oder Elasticität gehindert wird.

2) Zwei Stoffe können sich in allen möglichen Verhältnissen mit einander verbinden, wenn nicht die genannten Kräfte dieses beschränken; der Uebergang von einem Verbindungsverhältnifs zum andern ist ein allmäliger; (welches aber eben mit den regelmäfsig steigenden Verbindungsverhältnissen im Widerspruche steht).

3) Je weniger von einem Stoffe b erforderlich ist, um einen andern a zu neutralisiren, desto gröfser mufs seine Affinität seyn. Die zur Neutralisirung erforderliche Menge steht also im umgekehrten Verhältnisse der *relativen Affinitätsgröfse.*

4) Wirken b und c in gleicher Menge auf a ein, so werden sie sich im Verhältnifs ihrer Affinitätsgröfse in a theilen; wird dann das Gewicht von c verdoppelt, so wird auch seine Affinität verdoppelt. Das Product der relativen Affinitätsgröfse eines Körpers in sein Gewicht giebt seine absolute Verwandtschaft oder seine *chemische Masse.*

Nach Berthollet's scharfsinniger Theorie, nach welcher aber keineswegs alle Erscheinungen erklärbar sind, liegt allen Anziehungsphänomenen nur eine und dieselbe, jedoch verschieden modificirte, Attractionskraft zum Grunde, wie dieses La Place daraus folgerte. Vergl. §. 67. Die gegenwärtig fast ganz allgemein angenommene Hypothese der constanten Mengenverhältnisse der Mischungen stellte in gröfserer Ausdehnung und Bestimmtheit zuerst Richter auf [4]), Berzelius bewies die Zulässigkeit dieser Lehre durch Versuche [5]), Dalton gründete sie auf die Hypothese verbundener Elemente [6]).

---

[1]) S. Gmelin Handb. d. theor. Chemie I. p. 31 ff.

[2]) S. recherches sur les lois de l'affinité. Par. an XI. übers. von Fischer. Berl. 1803. Dessen Essai de statique chymique. Par. 1803. in Gehlen III. 218. Gegen ihn Proust. G. XXV. 266.

[3]) S. Leop. Gmelin Handb. d. theor. Chemie. 3te Aufl. 1827. T. I. p. 66.

[4]) S. Anfangsgründe der Stöchiometrie, Breslau u. Hirschberg 1792.

[5]) S. Gilb. Ann. XXXVII. 249. u. 415. XXXVIII. 361. XL. 162 u. 235. Schweigg. VII. 475.

[6]) S. a. a. O. Vergl. Gilbert de mistionum chemicarum simplicium et

§. 73.

Die mannigfaltigen, theils vorbereitenden, theils eigentlichen Operationen des Chemikers gründen sich im Ganzen sämmtlich auf die genannten Gesetze der Verwandtschaften, vermittelst deren sowohl die Bestandtheile der verschiedenen Mischungen aufgefunden, als auch die unzerlegbaren, mithin einfachen Grundlagen aller Körper und die allgemeinen Gesetze ihrer Verbindungen aufgesucht werden.

Die Hauptbeschäftigung der Chemiker ist die Analyse. Das endliche Ziel ihres Strebens ist die Auffindung der Elemente und der allgemeinen Gesetze ihrer Verbindungen zu den mannigfaltigen Körpern. Weil aber so oft schon gewisse Bestandtheile der Körper für einfach gehalten wurden, und sich später als zusammengesetzt zeigten, so bedient man sich des Ausdruckes *unzerlegte Körper*. Versteht man inzwischen unter unzerlegten Körpern solche, welche bis jetzt noch nicht zerlegt werden konnten, und daher vorerst als einfach anzusehen sind, so kommen beide Ausdrücke auf dasselbe hinaus.

Es giebt überhaupt 51 jetzt bekannte einfache Stoffe, von denen 38 bis 40 metallischer Natur sind. Bei der Anordnung derselben zu einem Systeme geht man von verschiedenen Grundsätzen aus. Eine der gangbarsten ist die elektrische Reihe nach Berzelius, wobei man vom elektronegativsten Stoffe zum elektropositivsten übergeht. Man kann auch von dem chemisch mehr Bedingenden zu dem minder Bedingenden und mehr Bedingten übergehen, oder einen sonstigen Entscheidungsgrund bei der systematischen Anordnung befolgen. Weil hier übrigens kein eigentliches chemisches System vorgetragen werden kann, so begnüge ich mich in den folgenden §§. eine kurze Uebersicht der einfachen Stoffe und einiger der wichtigsten und am häufigsten vorkommenden Verbindungen in einer blofs auf Leichtigkeit der Uebersicht berechneten Anordnung mitzutheilen.

§. 74.

Nach den jetzt bestehenden, neuen Berichtigun-

---

perpetuis rationibus earumque legibus detectis Lips. 1811. 4. in Ann. XXXIX. 361 Ueber die verschiedenen chemischen Systeme s. Scholz Lehrbuch der Phys. p. 126.

gen stets unterworfenen, chemischen Kenntnissen können als einfache Körper angesehen werden: *Erstens* drei für sich weder in fester noch in flüssiger Gestalt darstellbare, sehr häufig als Gasarten vorkommende Stoffe, der Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff. Man kann ihnen füglich des gleichartigen Verhaltens wegen den Kohlenstoff anreihen, obgleich derselbe im Diamant rein und für sich dargestellt vorkommt. Sie machen die Hauptbestandtheile aller organischen Körper aus, deren grofse Mannigfaltigkeit vorzüglich auf der quantitativen Verschiedenheit ihrer Mischungsverhältnisse beruhet, und sind zugleich grofsentheils Nebenbestandtheile der meisten unorganischen Körper.

Unter den genannten vier einfachen Substanzen, welche gleichsam die Wechselwirkung zwischen den beiden Reichen der Natur, dem der organischen und der unorganischen Körper unterhalten, steht billig der Sauerstoff oben an, als Bedingung des Brennens, des Athmens [1]), des Keimens der Gewächse u. s. w. Am einfachsten erscheint derselbe im *Sauerstoffgas* (Oxygengas, gas oxygène) welches farbenlos, ohne Geruch und Geschmack ist, und vorzüglich das Verbrennen (Säuren) der Körper unterhält. Daher das Verbrennen eines Hölzchens, einer Uhrfeder, des Schwefels, Phosphors u. s. w. mit starker Licht- und Wärme-Entwickelung. Sein spec. Gewicht = 1,10926, seine Lichtbrechende Kraft = 0,924. Es macht 0,21 der atmosphär. Luft aus. Man erhält dasselbe am leichtesten durch Glühen des schwarzen Magnesiumoxyd's (Braunstein) in einer eisernen Retorte oder durch Uebergiefsen desselben mit Schwefelsäure (1 Th. zu 1 Th.), oder durch Glühen des Salpeters, am reinsten durch Glühen des rothen Quecksilberoxyds oder durch den Einflufs des Lichtes und der Wärme auf befeuchtetes chlorsaures Kali.

In seinen Verbindungen liefert der Sauerstoff vorzüglich die Säuren a) unvollkommenere, b) vollkommenere; und die Oxyde, wohin vorzugsweise die Metalle gehören, in den sehr verschiedenen Graden ihrer Sättigung mit demselben, als Suboxydule, Oxydule, Oxyde und Hyperoxyde.

---

[1]) Ueber Respiration s. Spallanzani mém. sur la resp. Geneve 1803. Mém. de Paris 1790. Davy bei G. XIX. 298 u. a. a. O. Gehlen a. J. I. 2 Hft. Mém. d. la Soc. d'Arc II.

Der *Stickstoff*, auch Salpeterstoff, azote genannt, bildet unter andern eine Gasart, welche farbenlos, ohne Geruch und Geschmack ist, das Verbrennen nicht unterhält und dem Maſse nach zu 0,79 Theilen mit 0,21 Sauerstoffgas gemengt (oder gemischt) die atmosphärische Luft, als einzige eigentlich respirabele Gasart bildet. Man erhält dasselbe daher, wenn man dieser den lezteren Bestandtheil durch Phosphor, feuchte Schwefelalkalien oder die Respiration von Insecten entzieht, im lezteren Falle nach Absonderung der entstandenen Kohlensäure. Sein spec. Gewicht = 0,9706, seine lichtbrechende Kraft = 1,020.

Der Stickstoff kommt auſserdem in mehrfachen Verbindungen, sowohl in fester als auch in flüssiger und expansibeler Gestalt vor. Dahin gehören:

1) Seine Verbindungen mit Sauerstoff in verschiedenen quantitativen Verhältnissen. Wird die entstandene Verbindung = 1 gesetzt, die Quantität Sauerstoff aber in bekannten Zahlen, die des Stickstoff durch x ausgedrückt, wonach also, die bekannte Zahl = a genannt, $a + x = 1$ ist, so giebt die leztere Gröſse:

A) Mit 0,3636 Th. Sauerstoff oxydirtes Stickgas, Stickstoffoxydul von 1,5252 spec. Gewichte, welches aus Salpetergas durch Entziehung eines Antheils Sauerstoff erhalten wird, und (vielleicht wegen Ungleichförmigkeit der Mischung) verschiedene Wirkungen äuſsert, namentlich die mit einem süſslichen Geschmacke und Geruche verbundene berauschende Kraft [1]).

B) Mit 0,5 Th. Sauerstoff Salpetergas, welches farbenlos durch Zutritt des Sauerstoffgas sich in rothe Dämpfe verwandelt, auf die Lungen tödtlich wirkt, das Verbrennen weniger Körper, z. B. der glühenden Kohlen, unterhält, vom spec. Gewicht = 1,0399. Man erhält dasselbe am leichtesten aus Kupfer, Silber, oder Quecksilber u. s. w. und verdünnter Salpetersäure.

C) Mit 0,6 Theilen Sauerstoff untersalpetrige Säure (acide pernitreux), welche bei der Vereinigung von vier Maſsen Salpetergas und 1 Maſs Sauerstoffgas gebildet wird.

D) Mit 0,667 die salpetrige Säure, welche beim Vermischen von 2 Maſs Salpetergas mit 1 Maſs Stoffgas als dun-

---

1) S. Davy Researches chemical and phil. chiefly concerning nitrous oxyde and its resp. Lond. 1800. 8. Uebers. mit Anm. von Nasse, Lemgo 1804. v. Mons J. d. ph. et chim. I. 21. II. 108. V. 70.

kelrother erstickender Dampf erscheint, und das Brennen der Kohle und des Phosphors unterhält.

E) Mit 0,714 Sauerstoff Salpetersäure. Sie läſst sich nicht für sich darstellen, und wird daher aus den salpetersauern Salzen durch Schwefelsäure mit Wasser und salpetriger Säure verbunden geschieden, bildet gereinigt eine wasserhelle Flüssigkeit von 1,62 sp. Gewichte. Im concentrirten Zustande heiſst sie Salpetergeist, mehr verdünnt, Scheidewasser.

2) Im Verhältniſs von 81,9 zu 18,1 mit Wasserstoff verbunden giebt Ammoniak, welches rein als farbenloses Gas von 0,5893 spec. Gewichte gegen Luft und sehr stechend von Geruch ist. Mit Wasser giebt es den Salmiakgeist, mit Säuren Neutralsalze, namentlich mit Salzsäure den Salmiak.

3) Im Verhältniſs von 53,9 zu 46,1 mit Kohlenstoff verbunden giebt das von Gay-Lüssac entdeckte Cyan (Cyanogène), ein farbenloses Gas von 1,8025 spec. Gewichte, welches mit Wasser und vielen andern Körpern Verbindungen eingeht.

4) Im Verhältniſs von 41,17; 35,30; 23,53 mit Kohlenstoff und Sauerstoff verbunden giebt die Cyansäure (Liebig's Cyanige Säure) welche eben wie die Knallsäure erst neuerdings entdeckt ist. Leztere soll mit ersterer gleiche Bestandtheile haben, was aber nicht wohl zulässig scheint [1].

5) Im Verhältniſs von 51,85; 44,45; 3,70 mit Kohlenstoff und Wasserstoff verbunden giebt die Blausäure, welche als wasserhelle, sehr flüchtige, stark nach bittern Mandeln riechende und höchst tödtliche Flüssigkeit von 0,705 spec. Gewichte gegen Wasser, oder als Gas von 0,9359 gegen Luft erscheint. Sie verbindet sich mit Wasser, Alkohol, den Alkalien und mit verschiedenen Metallen, und ist vorzüglicher Bestandtheil des Berlinerblau [2].

Anderweitige Verbindungen mit Phosphor, Iod, Chlor u. a. m. werden in der Chemie weitläuftiger abgehandelt. Indeſs ist die leztere Verbindung, welche (mit Wasserstoff?) das detonirende Oel Dülong's bildet, vorzüglich merkwürdig. Auch ist der Stickstoff ein Hauptbestandtheil der thierischen Muskeln, und es wird daher Stickgas durch Salpetersäure aus denselben entbunden.

---

[1]) Vergl. L. Gmelin Handb. I. p. 462.

[2]) Schweigg. Journ. II. 201. Gilb. Ann. XL. 229.

[3]) S. Schweigg. Journ. VIII. 302. u. 303. Gilbert Ann. XLVII. 43. 56. 69.

Der *Wasserstoff*, hydrogène, erscheint am einfachsten im Wasserstoffgas, welches rein ohne Geruch und Farbe, 14,5mal leichter als Luft, oder von spec. Gewichte = 0,0688 durch Zerlegung des Wassers gewonnen wird. Um die zu ihrer Zeit höchst wichtigen Versuche anzustellen, durch welche auf analytischem und synthetischem Wege die bis dahin angenommene Einfachheit des Wassers widerlegt und seine Zusammensetzung aus Sauerstoff und Wasserstoff bewiesen wurde, bediente man sich eines Flintenlaufes, füllte diesen mit schraubenförmig gewundenem Eisendrahte, legte ihn in einen Ofen, versah ihn an der einen Seite mit einem Gefäſse, worin sich eine gewogene Quantität Wasser befand, an der andern mit einer krummgebogenen, in eine pneumatische Wanne geleiteten Röhre. War der mittlere, mit Eisendraht gefüllte, Theil des Flintenlaufes glühend geworden, und wurde dann das Wasser in dem Gefäſse zum Sieden gebracht, so nahm das glühende Eisen den Sauerstoff desselben auf, der Wasserstoff aber wurde als Gas aufgefangen, die Summe der Gewichte dieses Gases und der Zunahme des Eisens kam dem verzehrten Wasser gleich. Die Zerlegung läſst sich einfach bewerkstelligen, wenn man unter einem mit Wasser gefüllten und in Wasser eingetauchten Glase glühendes Eisen ablöscht. Die Zusammensetzung des Wassers geschah durch die der Explosion wegen leicht gefährliche Verbrennung beider Gase in eigenen Apparaten, welche Gasometer genannt wurden. Es sind deren verschiedene angegeben, z. B. von Lavoisier [1]), von Hauch [2]), von v. Marum [3]), von Seguin [4]), von Mayer [5]), von Fischer [6]), von Voigt [7]), von Steevens [8]), von Parrot [9]) u. a. Das Wasserstoffgas unterhält das Verbrennen nicht, ist aber selbst höchst verbrennlich, und kann daher mit Sauerstoff verbunden als Hauptgrundlage detonirender Substanzen angesehen werden. Mit Sauerstoffgas dem Volumen nach = 2 : 1 gemengt giebt Knallgas, welches

---

1) S. dessen traité de chimie.
2) Gren. n. J. II. I.
3) Gren. V. 154.
4) Gilbert Ann. II. 185.
5) Descriptio machin. cet. Gött. 1800.
6) Scherer Journ. X 301.
7) Trommsd. Journ. XII. 44.
8) Phil. Mag. XXVIII. 34.
9) Allg. Nord. Ann. V. 190.

unter Licht- und Wärme-Entwickelung zu Wasser dem Gewichte nach aus 88,9 Sauerstoff und 12,1 Wasserstoff bestehend sich vereinigt [1]. Mit Kohlenstoff im Verhältnifs = 0,15 : 0,85 giebt ölerzeugendes Gas von 0,978 spec. Gewichte und im Verhältnifs 0,261 : 0,739 Kohlenwasserstoffgas, oder Sumpfluft von spec. Gewichte = 0,6 bis 0,8; mit Phosphor das Phosphorwasserstoffgas, welches durch Erhitzung von 1 Th. Phosphor und 2 Th. concentrirter Aetzlauge erhalten wird, bei Berührung der atmosphärischen Luft oder des Sauerstoffgas mit starker Explosion verpufft und wahrscheinlich die Ursache der Irrlichter ist. Aufserdem gehen Boron, Calium, Arsenik [2], Zink, und gewifs noch andere Körper mit demselben Verbindungen ein. Am merkwürdigsten ist, dafs der Wasserstoff eben wie der zweite Bestandtheil des Wassers mit mehreren Grundlagen Säuren bildet, als Hydrothion-Hydriod-Salz-Flufs-Blau-Hydrotellur-Säure und Wasserstoffschwefel. Als Bestandtheil der organischen Körper ist der Wasserstoff vorzüglich wichtig, auch ist wohl nicht zu bezweifeln, dafs das constante Mischungsverhältnifs der Luft auf der Zersetzung des Wassers durch die Vegetabilien beruhet [3].

Der *Kohlenstoff* kommt rein im Diamant, als Hauptbestandtheil in der Kohle, dem Graphit und Anthracit vor, verbindet sich mit Sauerstoff im Verhältnifs 0,428 : 0,572 zum farbe- und geschmacklosen, sehr tödtlichen Kohlenoxydgas von spec. Gewichte = 0,9722 [4] und im Verhältnifs von 0,27 : 0,73 zu Kohlensäure. Diese vom spec. Gewichte = 1,524 kommt blofs in Gasform und nie tropfbar flüssig vor, wird durch das Verbrennen der Kohlen und kohlenstoffhaltiger Substanzen erzeugt, wirkt erstickend auf die Respirationswerkzeuge, löscht brennende Körper aus, verbindet sich mit Wasser, den Alkalien und Erden, aus denen sie durch stärkere Säuren geschieden werden kann. Parker hat hierzu eine eigene Maschine angegeben, welche aber theils zu kostbar, theils nicht stark genug ist. Bei der Bereitung künstlicher Mineralwässer prefst man durch mechanischen Druck eine gleiche Menge Kohlensäure in das Was-

[1]) S. Gehlen V. 95. Gilbert Ann. XX. 99. Schweigg. IV. 238.

[2]) S. Stromeyer in J. d. ph. LXVIII. 147.

[3]) S. meine (bis jetzt nur zum Theil bekannt gemachten) Unters. in Gilbert's Ann. XXXIII. 428. XXXIV. 296.

[4]) S. Boeckmann in Naturkundige Verhandl. van d. Holl. Maatschappi d. Wetensch. te Harlem VIII. 1817.

ser, als die Natur damit verbunden liefert. Die sonstigen Verbindungen des Kohlenstoffes mit Schwefel zum Schwefelkohlenstoff (Lampadius Schwefelalkohol) mit Eisen zu Stahl und mit Wasserstoff, Stickstoff u. a. Substanzen zu den organischen Körpern werden in der Chemie erläutert.

§. 75.

Als einfache Substanzen haben wir bis jetzt noch, einiger Gegengründe ungeachtet, verschiedene Körper anzusehen, welche für sich darstellbar mit andern Substanzen mehrfache Verbindungen eingehen, als Phosphor, Schwefel, Fluor, Boron, Iod, Selen und Brom.

Unter den genannten Substanzen sind vorzüglich Schwefel- und Phosphor nicht für einfach zu halten, wenn die Erfahrung es ferner bestätigen sollte, daſs dieselben durch thierische und vegetabilische Organisation erzeugt werden, was indeſs stets minder wahrscheinlich wird (§. 78.). Der *Phosphor*, von Brandt 1669 entdeckt, wird aus Knochen, worin er sich häufig als Phosphorsäure mit Kalk verbunden findet, durch Kohle reducirt, durch den Einfluſs des weiſsen oder violetten Lichtes in das sogenannte rothe Phosphoroxyd verwandelt, erscheint im Verhältniſs von 73,4 zu 26,6 mit Sauerstoff verbunden als phosphorige, durch Verbrennen im Verhältniſs von 44,8 zu 55,2 mit Sauerstoff verbunden als Phosphorsäure, welche sich, wie der Phosphor selbt, mit mehreren Substanzen verbindet.

Der *Schwefel*, welcher hauptsächlich in vulcanischen Gegenden häufig gediegen vorkommt, auſserdem aus den Kiesen in Menge gewonnen wird, giebt mit lose verbundenem Wasser die Schwefelmilch, mit Sauerstoff im Verhältniſs von 66,67 zu 33,33 die untershwefliche Säure oder das Schwefeloxyd, im Verhältniſs von 50 : 50 die schweflicbe, und im Verhältniſs von 40 : 60 die Schwefelsäure. Erstere wird meistens durch Verbrennen des Schwefels erhalten und dient zum Bleichen gelbgewordener thierischer Substanzen, die leztere als englische Schwefelsäure durch Verbrennen des Schwefels, oder als Vitriolöl durch Destillation des Eisenvitriols bereitet, hat sehr groſse Affinität zum Wasser und zu den salzfähigen Grundlagen, weswegen sie die meisten andern Säuren davon trennt.

Das *Fluor*, die Grundlage der Flufsspathsäure, welche sich vorzüglich mit Kalk im Flufsspath findet, ist noch nicht für sich dargestellt. Mit Wasserstoff im Verhältnifs von 94,9 zu 5,1 verbunden giebt die Flufssäure, welche entweder als Dampf oder als wässerige Flüssigkeit dargestellt wird. Da sie unter allen Säuren allein die Kieselerde auflöset, so kann sie eben so leicht als in vielen Fällen mit grofsem Nutzen zum Aetzen der Skalen physikalischer Apparate benutzt werden. Zu diesem Ende bereitet man sich einen Deckfirnifs aus 2 Th. weifsem Wachs, 1 Th. Mastix, 0,5 Th. Asphalt und fast 0,5 venet. Terpentin, schmelzt diese Substanzen bei gelindem Feuer in einem erdenen Topfe, giefst den oberen reinen Theil von dem etwa am Boden befindlichen Schmutze gesondert ins Wasser, ballet die Masse darin mit den Fingern zu einer Kugel, schlägt diese in ein seidenes Läppchen, und formt die Enden des lezteren nebst einem hineingesteckten Holzstäbchen zu einer Handhabe. Das Glas wird vor dem Aetzen am besten mit frischer Asche und reinem Wasser gesäubert dann über Kohlen erhitzt, mit dem Firnifs dünn überzogen, welchen man erforderlichen Falls mit der Fahne einer Rabenfeder gleichmäfsiger ausbreiten kann, und mit einer beliebigen Nadel radirt. Zum Aetzen kann man sich der liquiden Säure bedienen, für Kleinigkeiten aber genügen die Dämpfe. Zu diesem Ende schüttet man etwas gepulverten Flufsspath in einen hessigen Tiegel, befeuchtet ihn mit Schwefelsäure, und erhitzt das Ganze auf sehr gelindem Feuer. Bald sieht man weifsliche Dämpfe aufsteigen, in welche man das zu ätzende Glas so lange hält, bis die blank durchschimmernden radirten Stellen matt geworden sind. Bei schmalen Skalen ist es räthlich, den Tiegel mit zwei dünnen Brettchen zu bedecken, und den flufssauren Dampf durch den Zwischenraum beider aufsteigen zu lassen. Die leichte Operation erfordert blofs in so fern grofse Vorsicht, als das Einathmen des Dampfes und die Verletzung der Haut durch die Säure sorgfältig zu vermeiden sind, weil beides lange eiternde Geschwüre erzeugt [1]).

Boron, im Jahre 1808 durch Gay-Lüssac und Thénard dargestellt, findet sich nur in geringer Menge als Boraxsäure, ist dunkelgrünlichbraun und undurchsichtig, und giebt im Verhältnifs von 31,19 zu 68,81 mit Sauerstoff ver-

[1]) Lichtenberg in Gött. Taschencal. 1789. p. 138.

bunden die Boraxsäure, welche frei als Sassolin, mit Natron verbunden als Tinkal vorkommt.

Das *Chlor*, welches man anfangs für Salzsäure mit Sauerstoff verbunden hielt, und daher oxygenirte Salzsäure nannte, ist nach Davy [1]) eine einfache Substanz, welche als grünlich gelbe Gasart, aus 3 Th. Kochsalz, 2 Th. mit gleichviel Wasser verdünnter Schwefelsäure und 1 Th. Braunstein durch gelinde Erhitzung entbunden wird, vom spec. Gewichte 2,47, sehr erstikend und in gröfserer Menge geathmet zum Bluthusten reizend. Das Chlor wirkt auf Pflanzenfarben zerstörend, dient daher zum Bleichen, hauptsächlich der Baumwolle, und verbindet sich mit Spiesglanz, Arsenik, Wismuth, Zink, Eisen u. a. Metallen unter Licht und Wärme-Entbindung [2]). Mit Wasser verbindet es sich bei 0° bis 4° C. zu einer wachsähnlichen krystallinischen Masse, bei höherer Temperatur in stets verminderter Menge zur liquiden Säure. Mit Wasserstoff verbunden giebt es gemeine Salzsäure, mit Sauerstoff Davy's Euchlorine. Nach Graf Stadion giebt es eine vierfache Verbindung des Chlor mit 1; 3; 5; 7facher Quantität Sauerstoff, welche Euchlorine, dreifach oxygenirte Chlorine, Chlorinsäure und oxygenirte Chlorinsäure genannt werden [3]). Es geben nämlich 81,6 Chlor mit 18,4 Sauerstoff das Chloroxydul (Euchlorine), 52,5 zu 47,5 das Chloroxyd (dreifach oxygenirte Chlorine), 46,95 zu 53,05 die Chlorsäure (Chlorinsäure) und 38,7 zu 61,3 die oxydirte Chlorsäure (oxygenirte Chlorinsäure); die Chlorwasserstoffsäure oder Salzsäure (Kochsalzsäure) dagegen besteht aus 97,25 Chlor und 2,75 Wasserstoff. Läfst man Chlorgas in eine filtrirte Auflösung von Pottasche in zwei bis drei Theilen Wasser treten, so erhält man beim Erkalten den gröfsten Theil des gebildeten chlorsauren Kali (Bertholletsches Knallsalz), noch ein wenig aus der abgedampften Mutterlauge. Dieses aus glänzenden Blättchen bestehende Salz benutzt man hauptsächlich zu den bekannten chemischen Feuerzeugen, indem man 60 Th. dieses Salzes 14 Th. Schwefel, 14 Th. Benzoeharz, etwas Traganthschleim und Zinnober; oder 30 Th. des Salzes, 10 Th. Schwefel, 8 Th. Zucker, 5 Th. arab. Gummi, und etwas Zinnober mengt, die Schwefelhölzchen in die noch feuchte Masse taucht und langsam trocknen läfst. Der

[1]) Phil. Trans. 1810. p. 231.

[2]) S. Fourcroy in Mém. de l'Acad. 1788. p. 376.

[3]) G. LII. 197.

Schwefel darf nur im feuchten Zustande zugesetzt werden, weil sonst durch die Reibung leicht furchtbare Explosionen entstehen. Die Zündkügelchen der Gewehre, wozu Page das Schlofs erfand, oder das Zündpulver, besteht aus 54 Th. Knallsalz, 21 Th. Salpeter, 18 Th. Schwefel, 7 Th. Hexenmehl; oder aus 100 Th. chlorsauren Kali, 55 Th. Salpeter, 33 Th. Schwefel, 17 Th. gesiebter Faulbaumholzkohle, 17 Th. Hexenmehl. Zu Schiefspulver ist das Salz nicht brauchbar, weil es zu heftig und durch bloſse Reibung explodirt und die Geschütze zu sehr angreift [1]).

Iod (oder Iodine), von Courtois endeckt, ist in seinem Verhalten dem Chlor sehr ähnlich, erscheint fest als schwarzgraue, glänzende Krystalle, welche bei 175° C. in veilchenblaue Dämpfe verwandelt werden. Seine mannigfaltigen Verbindungen haben meistens eine sehr schöne Farbe [2]).

Selen, welches unter andern in verschiedenen Schwefelkiesen vorkommt, dadurch sich dem hieraus gewonnenen Vitriolöl, namentlich auch dem Nordhäuser, mittheilt, und diesem beim Verdünnen mit Wasser eine röthliche Farbe giebt, erscheint für sich dargestellt als dunkelbraune Masse, geht bei fortgesetzter Verdünnung in Lagen oder in Pulverform durch Blutroth zum helleren Roth über, wird schon bei 100° C. halbflüssig, in welchem Zustande es sich wie Siegellack in Fäden ziehen läfst, siedet unter der Glühhitze und giebt einen dunkelgelben Dampf. Auch diese Substanz, eben wie die beiden vorigen, verbindet sich mit Sauerstoff und Wasserstoff zu Säuren.

Brom, durch Balard in Montpellier entdeckt, erscheint als eine dunkelbraunrothe, übel riechende, schon bei 38° R. siedende Flüssigkeit, welche sich mit vielen Körpern verbindet, und in ihrem Verhalten manche Aehnlichkeit mit der zuletzt beschriebenen hat. Da die drei zuletzt genannten einfachen Stoffe erst neuerdings aufgefunden sind, so ist wohl nicht wahrscheinlich dafs sie künftig als zusammengesetzt erkannt würden, vielmehr ist es leicht möglich, dafs die Zahl der zu dieser Classe gehörigen Körper noch vermehrt wird.

---

[1]) Vergl. Mém. de l'Inst. XIV. LXXXVI. Hermbstaedt Büllet. XII. 2. p. 104. Döbereiner in Schweigg. Journ. IX. L. Gmelin Handb. d. Chem. I. 558.

[2]) S. Ann. de chim. LXXXVIII. 394. XCI. 5. Gilb. Ann. XLVIII. Schweigg. Journ. XI. 68.

§. 76.

Bei weitem die zahlreichste Classe der einfachen Körper machen die Metalle aus, welche sich im Ganzen durch ihr gröfseres spec. Gewicht den eigenthümlichen Glanz, Undurchsichtigkeit, Wärmeleitung und vorzüglich durch ihr elektrisches Verhalten unterscheiden. Sie kommen theils vererzt, theils als Oxyde, theils als Salze, theils regulinisch vor, und lassen sich gröfstentheils durch verschiedene chemische Operationen, zum Theil unter und durch Mitwirkung der Elektricität, in der lezteren Gestalt darstellen.

Es giebt 13 neuerdings aus ihren Oxyden gröfstentheils dargestellte, durch ihre Leichtigkeit (spec G. 0.865 bis 5,00) ausgezeichnete Metalle: Kalium, Natrium, Lithium, Baryum, Strontium, Calcium, Magnium, Cerium, Yttrium, Glycium, Alumium, Zirconium und Silicium [1]). Der früher bekannten schwereren (sp G. 6,0 bis 22,0) giebt es 27: Platin, Gold, Silber, Quecksilber, Kupfer, Zinn, Eisen, Blei, Wismuth, Zink, Antimon, Nickel, Arsenik, Kobalt, Molybden, Mangan, Scheel, Chrom, Uran, Tellur, Titan, Tantal, Palladium, Rhodium, Iridium, Osmium und Cadmium. Es ist schwer, für die grofse Zahl dieser Körper ihre allgemeinen Charaktere anzugeben, wodurch sie sich von andern ausschliefslich unterscheiden. Indefs kann man sagen, sie sind nie gasförmig, sämmtlich schmelzbar und in gröfster Hitze verdampfbar, haben im reinen Zustande sämmtlich metallischen Glanz, sind undurchsichtig und die besten Leiter der Wärme und Elektricität.

Man kann die Metalle abtheilen in leichte und schwere. Unter die erstere Classe gehören dann die sogenannten Alkalimetalle, nämlich Kalium, Natrium, Lithium, Baryum, Strontium, Calcium; und die Erdmetalle, nämlich Magnium, Yttrium, Cerium, Glycium, Alumium, Zirconium und Silicium, wovon jene mit Sauerstoff verbunden die fixen Alkalien, diese die Erden geben, aus denen sie noch nicht insgesammt im bleibenden metallischen Zustande dargestellt sind. Die schweren Metalle werden wieder in edle und unedle abgetheilt. Die edlen, für sich ohne Zusatz reducirbaren sind Platin, Gold, Silber, Quecksilber, Palladium,

---

[1]) Gilb. Ann. XXXI. 114. XXXII. 365. XXXVII. 321. u. a. a. O.

§. 77.

Die aufgezählten einfachen Stoffe gehen eine unglaublich grofse Menge von Verbindungen ein, welche durch Kunst nur zum Theil, und auch dann nicht allezeit in derjenigen innigen Mischung dargestellt werden können, wie die Natur, wenigstens im Reiche der organischen Körper, sie liefert. Ob hierbei aufser den Gesetzen der Anziehung noch die Elektricität wirksam ist, wie kaum zweifelhaft scheint, und ob noch sonstige unbekannte Potenzen, als die ihrem Wesen nach unerforschte, in ihren Wirkungen unverkennbare, Lebenskraft u. a. thätig sind, mufs künftigen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Bei der grofsen Menge der vorhandenen einfachen Stoffe mufs nach den Regeln der Syntaktik die mögliche Menge ihrer Verbindungen aufserordentlich grofs seyn, und dadurch ganz ins Unberechenbare gröfser werden, dafs die Menge des einen mit einem andern verbundenen Stoffes in verschiedenen Stufen ungleich ist. Alle diese einzeln zu untersuchen ist das Object der Chemie; hier dagegen möge nur Folgendes im Allgemeinen bemerkt werden.

1) Sofern man bei der Untersuchung der Natur und ihrer Gesetze von der Erfahrung ausgeht steht der Satz fest, dafs wirklich einfache Stoffe weder erzeugt werden noch in einander übergehen können. Alle die zahllosen Productionen der Natur und der Kunst bestehen also blofs in Zusammensetzungen und Trennungen einfacher Stoffe, und sobald ein solcher auf irgend eine Weise erzeugt wird, darf er nicht mehr als einfach gelten Hiernach können die verschiedentlich aufgestellten Behauptungen über die Kunst, unedle Metalle in Gold zu verwandeln, gewürdigt werden, desgleichen dafs durch thierische und vegetabilische Lebenskraft einfache Stoffe erzeugt seyn sollen, welches beides hiernach also unmöglich ist [1]).

---

hineingehangenen Zinkstange sehr glänzende Blättchen Ein Dianenbaum wird gebildet, wenn man verdünnte salpetersaure Silbersolution auf polirtes Kupfer giefst.

1) Ueber die Verwandlung der Metalle, Alkalien und Erden in einander, desgl. über die Bildung der für einfach gehaltenen Stoffe durch den Organismus der Natur. S. Lavoisier in Mém. de l'Acad. 1770,

2) Alle einfache Stoffe an sich betrachtet sind unorganisch; erst in ihren Verbindungen geben sie die sogenannten organischen Substanzen, und diese zeigen dann die Aeufserungen der Lebensthätigkeit. Die Zersetzungen aller Körper führen also zuletzt auf unorganische Stoffe, welche aus ihnen insgesammt hervorgehen.

3) Dafs in den organischen Körpern eine nach anderen, als den physikalischen und chemischen Gesetzen wirkende Kraft, die sogenannte Lebenskraft, thätig sey (man könnte sie die physiologisch wirksame nennen), ist ausgemacht, worin dieselbe aber ihrem Wesen nach bestehe, ob es nur eine einzige oder verschiedene derselben gebe, dieses ist noch keineswegs genügend beantwortet. Eben so wenig ist entschieden, in welchem Verhältnifs die Lebenskraft zur organischen Materie stehe. Einige Physiologen nehmen an, die erstere sey an die leztere bleibend gebunden, insofern sie dieselbe nicht verlasse. Hierfür läfst sich das Argument beibringen, dafs die organischen Körper nicht durch Zusammensetzung aus unorganischen gebildet werden können. Es streitet indefs sehr dagegen, dafs so viele organische Körper durch den Procefs der Fäulnifs, des Verbrennens u. s. w. in einfache Stoffe zerlegt werden. Hiernach müfste man also entweder annehmen, dafs die Lebenskraft bei den einmal belebt gewesenen Stoffen auch bei ihrem Uebergange zur Einfachheit bliebe, und dafs es mithin organische (belebte, mit Lebenskraft versehene) und unorganische einfache Stoffe gebe, oder dafs die Menge der vorhandenen organischen Materie durch gänzliche Zersetzung in einfache Stoffe fortwährend abnehme. Beide Sätze sind im höchsten Grade unwahrscheinlich, und da eine für sich bestehende, an kein Substrat (Materie) gebundene Kraft (also auch die Lebenskraft) nicht vorstellbar ist (vergl. §. 12.), so bleibt

---

1773 u. 1790. Vauquelin in Scherer's Journ. d. Chemie III. 119. Schrader zwei Preisschr. über die eigentl. Beschaffenheit und Erzeugung der erdigen Bestandtheile in den Getreidearten. Berl. 1700. J. de phys. LI. 90. Carosi über die Erzeugung des Kiesels und des Quarzes. Leipz. 1783. C. A. Gerhard über die Umwandlung und den Uebergang einer Erd- und Steinart in die andere. Berl. 1788. Hacquet Orygtographia Carniolica. II. 118 u. 163. Gehlen Jour. 1806. I. 43. Lampadius neue Erfahrungen im Gebiete der Chemie und Hüttenkunde. II. 100. Sammlung chemischer Abhandlungen III. 188 ff. v. Crell in Com. Soc. R. Gött. rec. I. John in Harlem. Denks. VIII. u. a. Gegen die Umwandlungen erklärt sich J. F. Wiedemann in: Ueber die Umwandlung einer Erd- und Steinart in die andere. Berl. 1792. 8.

es sonach dunkel durch welche Mittel die Belebung der Materie und die Wirksamkeit der Lebenskraft hervorgerufen werde [1]).

4) Wir bemerken in der Natur eine gewisse Wechselwirkung, namentlich zwischen den Erzeugnissen des Thierreiches und des Pflanzenreiches, welche hauptsächlich darin besteht, dafs durch die Vegetabilien Kohlensäure aufgenommen, und Sauerstoff ausgeschieden wird, der thierische Körper dagegen den Kohlenstoff aufnimmt, durch die Respiration mit Sauerstoff verbindet und als Kohlensäure ausscheidet. Ob die Pflanzen auch das Wasser zerlegen und sich den Wasserstoff aneignen, dieses ist zwar weniger ausgemacht, scheint mir aber nicht zweifelhaft. In Gemäfsheit des Gegensatzes würde dann durch den thierischen Organismus Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser vereinigt werden; welches indefs nicht füglich auf dem Wege der Erfahrung zu beweisen ist.

5) In der unorganischen Natur giebt es nicht blofs die einfachen Stoffe als zum Theil für sich bestehend, sondern auch eine überwiegend grofse Menge binärer Verbindungen, ja man kann die unorganischen Körper insgesammt als binäre oder aus binären zusammengesetzte ansehen, statt dafs in der organischen keine einzige binäre (wenn nicht die Kleesäure eine Ausnahme macht) angetroffen wird. Aufserdem unterscheiden sich die organischen Körper sehr wesentlich dadurch, dafs eine grofse Zahl derselben blofs aus Wasserstoff und Kohlenstoff mit etwas Sauerstoff besteht, und die ungleichen, nur wenig verschiedenen, oft nicht einmal durch die Analyse als verschieden aufzufindenden quantitativen Verhältnisse der einen oder der andern dieser constituirenden Bestantheile Pflanzenkörper liefern, welche in ihren übrigen Eigenschaften und Wirkungen auf den thierischen Organismus höchst ungleich sind. So bestehen z. B. nährende, narkotische und giftige Substanzen des Pflanzenreiches aus den nämlichen einfachen Stoffen. Im Allgemeinen bestehen die Pflanzenkörper aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, welche beide leztere (das gleichfalls darin befindliche Wasser abgerechnet) in einem solchen

---

1) Ueber die Lebenskraft s. Zoonomie oder Gesetze des organischen Lebens von Darwin übers. von Brandis. Hann. 1795. Roose Grundzüge. d. Lehre von d. Lebenskraft. Br. 1797. Treviranus Biologie, Rudolphi's Physiologie und die Lehrbücher der Physiologie überhaupt.

quantitativen Verhältnisse vorhanden sind, als die Zusammensetzung des Wassers erfordert, und zugleich mit einem geringeren oder gröfseren Ueberschusse von Sauerstoff und auch von Wasserstoff. Namentlich bestehen verschiedene Früchte anfangs aus Kohlenstoff und den beiden Bestandtheilen des Wassers in demjenigen quantitativen Verhältnisse wie es zur Bildung des lezteren erforderlich ist, mit einem Ueberschusse von Sauerstoff, wodurch die vorherrschende Menge vorhandener Säuren erklärlich wird. Almälig wächst die Menge des Kohlenstoffs und des Wasserstoffs, bis kein Ueberschufs von Sauerstoff über den zur Wasserbildung proportionalen Theil mehr vorhanden ist, vielmehr ein Ueberschufs von Wasserstoff entsteht. In den animalischen Körpern ist neben den genannten Bestandtheilen hauptsächlich der Stickstoff vorherrschend, und dafs aufserdem im Thierreiche sowohl als im Pflanzenreiche den einzelnen Substanzen noch verschiedene andere einfache Stoffe in ungleichen Quantitäten beigemischt sind, ist bekannt.

6) Die unorganischen Verbindungen lassen sich künstlich zwar nicht in so grofsem Mafsstabe, allein der Qualität nach genau so herstellen, als sie durch die Natur producirt werden; man kann also sagen, dafs sie rein chemischen Gesetzen folgen. Bei den organischen ist dieses aber nicht der Fall, und hierauf beruhet der Schlufs, dafs bei ihrer Bildung eine eigenthümliche Kraft, die Lebenskraft, thätig ist. Im Allgemeinen indefs hat die Chemie Mittel, durch die Wirkung der Affinitäten den organischen Körpern gewisse Bestandtheile ohne Zerstörung des Ganzen zu entziehen, sie dadurch zu verändern und in andere zu verwandeln, hauptsächlich sie auf diese Weise von einer höheren Stufe einer zusammengesetzteren Verbindung auf eine niedrigere herabzubringen.

Anhang.

Eudiometrie und Luftreinigung.

§. 78.

Die atmosphärische Luft ist nach überwiegenden Gründen ein Gemenge aus zwei Gasarten, dem Sauerstoffgas und Stickgas, welches indeſs im natürlichen Zustande zwar im Allgemeinen überall gleich, aber nie ganz rein gefunden wird. Der eine der beiden Bestandtheile, das Sauerstoffgas, dient zwar zunächst allein zur Unterhaltung des animalischen Lebens, jedoch bloſs in demjenigen quantitativen Verhältnisse, wie es sich in dieser Mengung findet. Die unrichtige Voraussetzung, daſs die Salubrität der Luft der Gröſse ihres Antheils an Sauerstoffgas proportional sey, veranlaſste die Erfindung der verschiedenen Eudiometer, denen man das Anthracometer beifügen kann. Auch die Mittel, die ansteckenden Miasmen zu zerstören, sind bei der mangelhaften Kenntniſs der lezteren schwer aufzufinden. Indeſs sind unter den gehörigen Bedingungen Ventilatoren zweckmäſsig, und der Erfahrung nach werden die sauern Räucherungen, vorzüglich nach dem Vorschlage von Guyton-Morveau, nicht ohne groſsen Erfolg angewandt.

Bei der Feinheit der Elemente gasförmiger Flüssigkeiten ist es bei ihren Verbindungen unter einander nicht möglich, unmittelbar zu entscheiden, ob sie Mengungen oder Mischungen sind, und da die beiden Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft in stets gleichbleibendem quantitativen Verhältnisse vereint vorkommen, so hat man mit Recht hierin ein Argument gefunden, die Verbindung eine chemische zu nennen, um so mehr, als es noch andere Verbindungen der Art giebt, wobei Stickstoff mit einer gröſseren Menge Sauerstoff chemisch verbunden ist. Hiernach

wäre also die atmosphärische Luft als Stickstoff auf der ersten Stufe der Oxydirung anzusehen, und obgleich diese Hypothese anderweitig schwer zu widerlegen seyn würde, so streitet dennoch dagegen ein unwiderlegliches Argument, nämlich dafs das Salpetergas, welches eine chemische Verbindung aus 0,5 Th. Sauerstoff und 0,5 Stickstoff ist, der atmosphärischen Luft alles Sauerstoffgas entzieht. Hiernach müfste also eine chemische Mischung, worin schon mehr Sauerstoff enthalten ist, einer andern, worin weniger sich vereinigt findet, auch diesen Antheil entziehen, welches unmöglich ist, wenn man nicht diese leztere Verbindung für eine blofse Mengung erklärt.

Das quantitative Verhältnifs der Hauptbestandtheile in der atmosphärischen Luft ist in allen Höhen und in allen nicht durch undurchdringliche Wände abgeschlossenen Räumengleich, und wenn es dem Mafse nach zwischen 78 und 80 Th. Stickgas und 22 und 20 Th. Sauerstoffgas schwankt, so kann dieser geringe Unterschied aus Messungsfehlern herrühren. Blofs in Kellern, Cisternen, Kloaken, Krankenstuben u. s w. kann sich eine gröfsere Menge anderer Gasarten anhäufen, welche dann jenes Verhältnifs abändert. Zu den zwar nicht wesentlichen, aber niemals fehlenden, Bestandtheilen der Luft gehört namentlich der Wasserdampf, dessen Menge hauptsächlich der Wärme proportional ist, wenn nicht andere Bedingungen dieselbe abändern (vergl §. 96), und die Kohlensäure, welche ohne sonstige bedingende Ursachen zwischen 0,0005 und 0,008 dem Volumen nach wechselt. Alle andere beigemengte Theile sind zufällig, oft durch örtliche Ursachen, in sehr ungleichen Mengen und nicht insgesammt gleichzeitig darin vorhanden. Dahin gehört Salzsäure, welche frei oder an Kalk, Natron, Bittererde gebunden sehr häufig gefunden werden soll, die aus dem Rauche mancherlei Art über Hüttenwerken und grofsen Städten aufsteigenden und die Luft trübenden Substanzen, hydrothionsaures Gas über Schwefelquellen, verschiedene durch den Geruch kenntliche, aus Zersetzungen animalischer und vegetabilischer Substanzen aufsteigende, Stoffe, und vor allen Dingen die ansteckenden Miasmen.

Die sogenannten Eudiometer, eigentlich Luftgütemesser, sind blofs Sauerstoffgasmesser, als 1) Fontana's Salpetergas-Eudiometer, welches in seiner äufsern Form vielfach verändert, in jeder aber ausnehmend bequem ist, giebt ungeachtet der neuesten Bestimmungen des quantitativen Verhältnisses der Bestandtheile bei der Verbindung des Sauer-

stoffgas mit Salpetergas, und der hiernach aus der Absorption zu berechnenden Menge des vorhandenen Sauerstoffgas durch Dalton und Gay-Lüssac ($^7/_{19}$ u. $^1/_4$), so wie des Vorschlags, den Rest des Salpetergas durch Eisenvitriol zu absorbiren [1]), keine grofse Genauigkeit [2]). 2) Seguin's Phosphor-Eudiometer, verbessert von Reboul, Parrot, Gren [3]). 3) Scheele's Eudiometer durch ein benetztes Gemenge von Eisenfeilicht und Schwefel [4]). 4) Guyton's mit Schwefelkali [5]). 5) de Marti und Hope's mit Schwefelkalk [6]). 6) Davy's mit aufgelöseten grünen Eisenvitriol [7]).

Das vollständigste und sicherste Werkzeug zur Zerlegung der Gasarten ist Volta's Wasserstoffgas-Eudiometer [8]). Es ist auf das Princip gegründet, dafs zwei Theile Wasserstoffgas dem Volumen nach sich mit einem Theile Sauerstoffgas zu Wasser verbinden. Man füllt deswegen in einer hinlänglich starken Verpuffungsröhre zu der auf ihren Sauerstoffgas-Gehalt zu prüfenden Luft eine gemessene Menge Wasserstoffgas, und läfst vermittelst zweier in die Röhre geführter, nur um etwa eine Linie von einander an ihren unteren Enden abstehender Drähte einen elektrischen Funken schlagen, so verbrennen beide Gasarten mit einander und ein Drittheil der Absorption giebt die vorhanden gewesene Menge des Sauerstoffgases. Dafs man auf gleiche Weise auch den Gehalt an Wasserstoffgas in einer gegebenen Gasmenge prüfen könne, versteht sich von selbst.

Dieses Eudiometer hat den Nachtheil einer heftigen Explosion, wodurch nicht blofs die Röhre zerschlagen, sondern auch leicht ein Theil Gas entweichen, in das Sperrwasser geprefst oder durch das plötzlich entstandenene Vacuum

---

1) Journ. de Phys. LX. 129.

2) Gilbert Ann. XVIII. 335. XXVII. 374. XXXVI. 37. Journ. of the roy. Inst. XIX. 394.

3) Ann. d. chim. IX. 293. XIII. 38.

4) Scheele Abh. von Luft und Feuer, Leips. 1782.

5) Crell Ann. 1788. I. 316.

6) Journ. de Phys. LII. 176. Nichols. Journ. VI. 210.

7) Journ. of the royal Inst. 1801. 45. G. XIX. 394.

8) S. Brugnatelli ann. d. chim. I. 171. II. 161. Volta meteor. Briefe, übers. Leipz. 1793. Mag. d. Ges. N. F. I. 267. G. XX. 38. Ann. de chim. 1817. IV. 188. u. a. O. Vergl. Scheerer's Geschichte der Luftgüte-Prüfungslehre für Aerzte und Naturfreunde. II Vol. Wien 1785. Sehr zusammengesetzte Apparate für die Eudiometer zum Zulassen und Messen der Gasarten bringt Hare in Vorschlag, S. Phil. Mag. LXVII. 21.

dadurch zu einem höchst feinen Mefsapparate erh
er die obere Kugel sehr grofs macht und mit
schliefsbaren Oeffnung versieht, unten aber e
schraubende, mit Kalk oder Barytwasser gefül
anbringt [1]).

Da die Luft in Zimmern mit Menschen erfül
sächlich wenn diese krank sind oder ausdünstende M
bearbeiten, stets verunreinigt wird, und daher
schaffung der schlechten und Zuführung neuer
schenswerth ist, so bringt man zu diesem Zwec
genannten *Ventilatoren* an, so weit die hieraus en
Luftbewegung anderweitig nicht unangenehm ode
sundheit nachtheilig ist. Eine Ventilation entst
von selbst durch den Zug der Windöfen und es
berechnen, wie viele Luft hierdurch aus dem Zim
geführt wird und also von aufsen wieder eindrin
wenn man die Gröfse der zur Ableitung der Luft
Oeffnung und die Geschwindigkeit der Bewegu
selten sind aber diese Bestimmungen genau bekann
dieses Mittel wird indefs die untere, in Wohnzim
Kohlensäure (als Erzeugnifs der Respiration) ver
Luft weggeschafft. Die eigentlichen Ventilatore
so angebracht, dafs die verunreinigte Luft obe
und durch die in die unteren Räume der Zimmer zu
ersetzt wird. Für die leztere werden nicht alle
Canäle angelegt, weil kein Zimmer vollständig sc
Krankenstuben wird aber sehr zweckmäfsig die zu
Luft zuweilen vorher erwärmt. Die Luftheizung,
für den sogenannten Luftwechsel eingerichtet ist
giebt eine sehr gute Ventilation. Im Uebrigen bere
nach pneumatischen Grundsätzen auf die nämliche
dieses im §. 55 gezeigt ist, die aus einer Oeffnu
einen Ventilator abfliefsende Luftmenge, wenn des
und Höhe, nebst dem Unterschiede der Temperatu
ist [2]).

Dafs die ansteckenden Miasmen wirkliche St
welche in der Luft, auch bei gröfster anscheinende

---

[1]) Die Operationen selbst können hier nicht beschrieben
sie zunächst in das Gebiet der Chemie gehören. In den L
dieser Wissenschaft ist dann auch die weitere Literatur z

[2]) S. G. F. Parrot's zweckmäfsige Luftreiniger. Frankf. 1793.
Principles of Warming and Ventilating public Buildings.
1824. 8. Deutsch: Tredgold's Grundsätze der Dampfhe
der damit verbundenen Lüftung u. s. w. von Kühn. Leip

derselben und ohne durch den Geruch kenntlich zu werden, schweben, dafür entscheiden hauptsächlich die Erfahrungen, wonach sie durch die Luftströmungen herbeigeführt, und leichter vom kalten Körper (namentlich in der Morgen und Abendkühle) als vom warmen und ausdünstenden aufgenommen werden. Im Allgemeinen sind nicht sowohl die durch übelen Geruch kenntlichen frischen Ausdünstungen animalischer und vegetabilischer Körper, welche sich bei vielen Gewerben aus den verarbeiteten Stoffen entwickeln, der Gesundheit nachtheilig, als vielmehr die nicht durch einen unmittelbaren Sinneseindruck kenntlichen, aus langsamen Moderungen und Zersetzungen der mit Erde, Wasser und Schlamm bedeckten organischen Körper aufsteigenden Miasmen der Gesundheit nachtheilig. Namentlich werden daher geebnete Kirchhöfe, verschüttete Stadtgräben, insbesondere wenn sie früher Kloaken aufnahmen, und ausgedehnte Sümpfe mit den darin modernden zahllosen Thieren der Gesundheit leicht gefährlich, als die Pontinischen Sümpfe und einige in America [1]). Düpüytren und Thénard suchten in den mit ansteckenden Krankheiten erfüllten Hospitälern und Moscati über den Reisfeldern die Miasmen in kaltem Wasser und als Niederschlag auf Glaskugeln mit Eis gefüllt aufzufangen, erhielten einen flockigen Niederschlag, welcher immerhin diese Substanzen enthalten mogte, ohne dafs sich dieses mit Gewifsheit annehmen läfst [2]). Inzwischen stimmen diese Erfahrungen sehr gut mit denen überein, wonach sich dieselben mit grofser Sicherheit zerstören lassen.

Vor allen Dingen wird die Luft durch die sämmtlichen wohlriechenden Wässer, Räucherpulver u. dgl., auch durch den Tabackrauch, nicht gereinigt, vielmehr verschlimmert, und diese können also nur in sofern einigen Nutzen haben, als sie die unangenehme Nervenaffection durch Einwirkung der äufseren Luft auf den Geruch aufheben, wohl aber findet die Zerstörung der Miasmen statt durch die sauren Räucherungen: dahin gehören die Essigsäure (vinaigre des quatre voleurs), überhaupt das Räuchern mit Essig, die salpetersauren Dämpfe nach Schmith und das Chlor nach Guyton Morveau [3]). Man bedient sich dazu der §. 75

[1]) Histoire des Marais et des maladies causées par les émanations des eaux stagnantes. Par J. B. Montfalcon. Par. 1825. 8. Vergl. v. Humboldt Essay polit. IV. 524. Langsdorf Reis. II. 188.

[2]) Ann. de Chim. LXXXII. 330. Schweigg. Journ. V. 322.

[3]) Traité d. moyens de desinfecter l'air cet. Par. an IX. 8. 3me ed. Par. 1807. Für jede verständliche Anweisung u. s. w. von L. W. Gilbert.

angegebenen Mischung, oder der liquiden Säure nach Metrasse [1]), oder der Fläschchen [2]), oder der Kugeln aus Kochsalz, Vitriol, Lehm und Braunstein, welche getrocknet und auf Kohlen gelegt werden nach Siegel in München. Für inficirte Häuser und selbst Städte wendet man die gröfseren Chlor-Entwickelungsapparate an [3]). Neuerdings giebt man dem Chlorkalke den Vorzug. [4]).

Zum Nachlesen dienen: Encyclopädie der gesammten Chemie von Hildebrand. 12 Hefte. 2te Aufl. 1809.

Dessen Lehrbuch der Chemie als Wissenschaft und als Kunst. Erlangen 1816.

Trommsdorf system. Handbuch der gesammten Chemie 2te Aufl. Erfurt 1805. 8 Bde.

Fourcroy systéme de connoissances chimiques. Par. 1801. X vol. Uebersetzt Braunsch. 1801—4.

Thomson system of chemistry, übersetzt von Wolf. Berl. 1805—11. IV vol. 1 vol. Supplem. 8vo.

Dalton neues System des chem. Theils der Naturwissenschaft, übersetzt von Wolf. Berl. 1812. 2 vol. 8.

Berzelius Elemente der Chemie, übersetzt von Wöhler.

Wurzer Handbuch der populären Chemie. Leipz. 1814.

Stromeyer Grundrifs d. theoretischen Chemie. Gött. 1808. 2 Theile. 8.

Gnemlin Handbuch der theor. Chemie. Frankf. 1827.

Prechtl Grundlehren der Chemie in technischer Beziehung. Wien. 2 vol. 2te Aufl. 1817.

Leipz. 1813. 8. Gimbernat Instruction sur les moyens propres à prévenir la contagion. Strafsb. 1814. 8.

1) S. bulletin de pharm. fevr. 1811. Ann. de Chemie XLI. 219.

2) Gilb. Ann. XI. 486.

3) S. Ann. de Chem. LII. 347. LXXXII. 297.

4) Ann. de Chem. et de Phys. XXXIII. 271. Jahrb. des polyt. Inst. XII. 81.

Zweite Abtheilung.

Unwägbare Potenzen.

§. 79.

Aufser dem Verhalten der wägbaren Körper zeigt uns die Beobachtung der Natur noch eine grolse Menge von Erscheinungen, welche auf die allgemeinen Bewegungsgesetze jener sich nicht zurückführen lassen, sondern durch gewisse, ganz verschieden wirkende Potenzen hervorgebracht werden. Man nennt diese lezteren, ohne ihre eigentliche Beschaffenheit entscheidend zu bezeichnen, Inponderabilien oder Incoercibilien.

Die durch sichere Beobachtungen bekannten Inponderabilien sind Wärme, Licht, Elektricität und Magnetismus. Ob zukünftig noch andere entdeckt werden, läfst sich nicht entscheiden. Man könnte dahin rechnen das noch unbekannte Nervenfluidum und die einfache oder die mehrfachen Potenzen, von denen die zahlreichen Aeufserungen der Lebenskraft abhängen. Es ist indefs noch keineswegs erwiesen, ob diesen bestimmte Potenzen zum Grunde liegen, und um so mehr ist es noch bei weitem zu frühe, Hypothesen hierüber aufzustellen, welche auf allen Fall nicht genugsam begründet seyn können. Ungleich besser ist es daher, zuvörderst die Thatsachen genau festzustellen, indem durch Beobachtungen und Versuche die Gesetze, nach denen sie erfolgen, bestimmter aufgefunden werden, und demnächst erst den eigentlichen wirksamen Kräften mit gröfserer Hoffnung eines günstigen Erfolges nachzuforschen rathsam ist.

Die genannten vier Potenzen heifsen Incoercibilien, weil sie sich nicht auf gleiche Weise, als die wägbaren Stoffe, in Hüllen einschliefsen lassen. Diese Eigenschaft beweiset nichts gegen ihre Materialität; denn so gut als die tropfbaren Flüssigkeiten Hüllen durchdringen, welche

trockene Pulver vollkommen zurückhalten, die Gase aber solche, wodurch jene fortdauernd eingeschlossen werden, darf man nur die gesammten festen Körper für diese feinsten Stoffe für zu porös halten. Bei der Wärme läfst sich diese Hypothese noch dadurch unterstützen, dafs sie namentlich die Hüllen (Metallkugeln u. s. w.) auf gleiche Weise durchdringt, als z. B. Wasser die Thierblasen (§. 69.), indem der von der äufseren Oberfläche ausströmende Theil durch almäligen Zuflufs von Innen her ersetzt wird §. 87. Inzwischen ist ungeachtet einiger Aehnlichkeit mancher Phänomene dennoch ein unverkennbarer Unterschied des Verhaltens der Incoercibilien und der gröberen materiellen Stoffe vorhanden, und sie können mit Recht diesen Namen erhalten, ohngeachtet aufser dem, was so eben von der Wärme gesagt ist, manche Körper auch für Elektricität und Licht in gewissem Sinne undurchdringlich sind, und selbst eine freie Durchdringung des Magnetes durch Eisen nicht stattfindet.

Man nennt ferner diese Potenzen unwägbar, weil auch die empfindlichsten Waagen bishero keine Schwere derselben angezeigt haben sollen. Hierbei müfste zuvörderst erst die Thatsache selbst genau bestimmt werden, denn es fragt sich ob man sie wirklich unwägbar zu nennen berechtigt sey, weil ihr Gewicht bisher noch nicht bestimmt ist. Es tritt hierbei der nämliche Fall ein, als bei der Zerlegbarkeit, insofern man sich in Folge einfacher Erfahrungen nicht berechtigt glaubt, die Körper deswegen unzerlegbar zu nennen, weil sie noch nie zerlegt wurden, und es könnte also eben so wenig erlaubt seyn, Unwägbarkeit da zu statuiren, wo blofs noch nicht gewogen werden konnte. Obendrein liegt klar vor Augen, dafs eine Wägung auf gemeinen Waagen stets unmöglich bleiben würde, wenn zwischen den unwägbaren Stoffen und dem leichtesten wägbaren Körper, dem Wasserstoffgas unter atmosphärischem Drucke, ein gleiches Verhältnifs stattfände, als zwischen diesem und dem schwersten Metalle, dem Platin. Wären ferner diese Potenzen so fein vertheilt, als z. B. die riechbaren Stoffe in der atmosphärischen Luft §. 16, so würde es unmöglich seyn, ihr Gewicht aufzufinden. Aus diesen Betrachtungen folgt, dafs die Benennung, unwägbare Potenzen, streng wissenschaftlich nicht gerechtfertigt werden kann, und blofs deswegen beibehalten werden mag, weil sie einmal ein gewisses Ansehen erhalten hat, und richtig erklärt, nämlich dafs bisher noch keine Gewichtsbestimmung stattfand, eben so wenig

wesentlich nachtheilig seyn kann, als wenn man unzerlegbare Stoffe statt unzerlegte sagen wollte. Inzwischen mufs man bei den einzelnen dieser Potenzen einen Unterschied machen. Beim Lichte ist Gravitatiom gegen die Erde, also eine Wägbarkeit, überall nicht wohl denkbar, welche Vorstellung man sich auch davon machen will; fast eben so wenig scheint der Magnetismus damit verträglich zu seyn; es bleiben daher nur noch Elektricität und Wärme als solche übrig, wobei diese Frage zur Untersuchung kommen kann. Die erstere von diesen übt, in gröfserer Menge angehäuft, eine so starke Anziehung gegen ihre Umgebungen aus, dafs es fast unmöglich seyn dürfte, eine Wägung derselben überhaupt zu bewerkstelligen, was aber in Beziehung auf die Wärme in dieser Rücksicht bereits geschehen ist, verdient bei dieser Potenz besonders untersucht zu werden.

§. 80.

Obgleich die vier genannten Potenzen in den angegebenen Hauptcharakteren, nämlich der Unwägbarkeit und Incoercibilität mit einander übereinkommen, so zeigen sie doch zugleich sowohl in ihrem Wesen als auch in ihrem Verhalten eine nicht zu verkennende Verschiedenheit. Hauptsächlich ist im Allgemeinen das Licht unzweifelhaft kosmisch, weniger und nur aus einigen Gründen läfst sich dieses vom Magnetismus annehmen; die Wärme und Elektricität scheinen dagegen zunächst an unsere Erde gebunden und also tellurisch zu seyn.

Dafs das Licht mit einem gewissen Grade von Gleichmäfsigkeit im ganzen Weltraume verbreitet, namentlich den Fixsternen und Sonnen insgesammt im Wesentlichen auf die nämliche Weise eigenthümlich zugehörend sey, ist als völlig erwiesen zu betrachten. Der Magnetismus zeigt eine den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportionale Anziehung, und da er nach Gay-Lyssac's Versuchen in mefsbarer Entfernung von der Erdoberfläche sich ungeschwächt zeigt, hierin also der überall verbreiteten Newtonschen Anziehung ähnlich scheint, endlich auch die Meteorsteine, welche nach Chladni aus dem Weltraume kommen, magnetische Bestandtheile enthalten, so scheinen hierin Gründe zu liegen, ihn gleichfalls für kosmisch zu

halten. Die Wärme dagegen nimmt mit der Entfernung von der Erde in einem solchen Verhältnisse ab, dafs mit der Grenze der Atmosphäre nothwendig der absolute Nullpunct zusammenfallen müfste, wenn die Abnahme in einer arithmetischen Reihe fortginge, und da aufserdem die Wärme nirgend für sich bestehend, sondern allezeit an ein materielles Substratum gebunden erscheint, so können wir die unserer Erde zugehörige nicht wohl anders als für tellurisch halten. Auch die Elektricität scheint, zahlreichen Beobachtungen nach, die Pole der Erde nicht zu erreichen, wenigstens so fern sie der Luft mitgetheilt wird (Luftelektricität), und da dieses eine Folge der Kälte seyn muſs, leztere aber in den gröfsten Höhen der Atmosphäre einen gleich hohen Grad erreicht, so mufs sie dort gleichfalls aufhören und demnach auch tellurisch genannt werden [1]).

A) Wärme.

§. 81.

Die physische Ursache, welche durch ihre Anwesenheit die Erscheinungen des Erwärmens bis zur gröfsten Erhitzung, durch ihre Abwesenheit die Erscheinungen der Kälte bis zum höchsten Grade der Erstarrung hervorbringt, nennen wir Wärme. Sie besteht entweder in einem eigenthümlichen Verhalten der Körper, oder ist als ein für sich bestehender Stoff anzusehen, welcher die bekannten Erscheinungen in den verschiedenen Körpern hervorbringt.

Man unterscheidet zwar Wärme und Kälte als beide einander entgegengesetzt; allein da ein wirklicher und wesentlicher Gegensatz ein zwischenliegendes Null erfordert, dieses aber nichts anderes als der absolute Nullpunct seyn könnte, welcher noch nicht mit völliger Gewifsheit bekannt ist, geschweige denn, dafs uns über jenen hinausgehende Erscheinungen bekannt seyn sollten, so folgt hieraus nothwendig, dafs die Kälte eine blofse Negation, also Abwesenheit der Wärme, und auf keinerlei Weise als etwas für sich

---

[1]) Ueber die drei lezteren Potenzen kommt diese vorläufig hier im Allgemeinen erörterte Frage noch einmal besonders zur Untersuchung.

bestehendes denkbar sey. Ein scheinbares Argument, nämlich dafs es auch entgegengesetzte Elektricitäten gebe, findet nicht statt; denn die lezteren sind einander nicht absolut entgegengesetzt (die eine die andere verneinend), neutralisiren einander daher zur Indifferenz ihrer gegenseitigen Wirkungsäufserungen, aber nicht zum eigentlichen Null. Das Mafs der Wärme eines Körpers wird blofs aus ihrem Verhältnisse gegen das eines andern Körpers bestimmt. So könnte das Eis dem gefrornen Quecksilber die zum Schmelzen erforderliche Wärme geben, lezteres dem gefrornen Alkohol u. s. w.

Davy und Rumford wollen die Erscheinungen der Wärme aus Vibrationen (rayons) der Körper erklären. Die Gründe für diese Hypothese entnehmen beide aus der Erzeugung der Wärme durch Reiben bei völlig verhinderter Zuleitung von Aufsen, aus der Unwägbarkeit der Wärme und den fehlenden Bedingungen der Materialität, nämlich Ausdehnung und Undurchdringlichkeit. Davy rieb Körper, und weil die dadurch entwickelte Wärme aus dem Sauerstoffgas der Atmosphäre entstanden seyn konnte, so stellte er die Reibungen unter einer Campane selbst im luftleeren Raume an, und versperrte der von Aufsen zudringenden Wärme den Zutritt durch Eis; die dessenungeachtet erzeugte Wärme glaubte er für nichts anderes als ein unmittelbares Erzeugnifs der Reibung ansehen zu können, oder durch eigenthümliche Schwinungen der Theile der geriebenen Körper erzeugt. Rumford trieb die Versuche noch mehr ins Grofse, indem er den Trunc einer Canone in einem Gefäfse mit Wasser einschlofs, und einen stumpfen Bohrer darauf wirken liefs. Als sich so viele Wärme entwickelte, dafs nicht blofs das Metall, sondern auch das Wasser bis zum Sieden erhitzt wurde, welche, wie Rumford meinte, auf keine Weise von Aufsen durch das Wasser gedrungen seyn konnte, hielt er sich zu dem Schlusse berechtigt, dafs die Wärme überhaupt in gewissen Schwingungen der Körpertheile selbst bestehe [1].

---

[1]) S. Contributions to physical and med. Knowledge, collected by Th. Beddo'es. Brist. 1799. 8. 1—147. Henry in Memoirs of the soc. of Manchester V. 2. H. Davy's Beiträge zur Erweit. des chem. Theils der Naturlehre. Uebers. von Wolf. Berl. 1820. p. 81. Rumford exper. essay's, essay IX. Phil. trans 1798. I. 80—102. Memoire sur la chaleur Par. und 7 Memoires in Mém. de l'Inst. VI. 71. Prüfung und Widerlégung seiner Theorie von Haldane in J. d. ph. LXV. 213.

Genau genommen scheint es mir indefs nicht schwierig, diese Hopothese zu widerlegen, und zwar aus den Erscheinungen der Mittheilung der Wärme durch den leeren Raum. Würde nämlich dieselbe blofs in Körpern erzeugt, und ginge sie blofs von diesen an unmittelbar berührende oder durch ein materielles Zwischenmittel verbunden über, so liefse sich die Theorie vertheidigen, aber der Durchgang derselben durch den leeren Raum kann nicht anders als aus einer Emanation oder Undulationen eines eigenthümlichen Stoffes erklärt werden, welcher dann gerade der bestrittene Wärmestoff seyn müfste. Wenn Rumford hierfür Strahlen *(rayons)* annimmt, und neben den Wärmestrahlen sogar auch Kältestrahlen zulässig findet *(rayons calorifiques et frigorifiques)*, so sind dieses blofse Namen, welche ohne nähere Erklärung keinen präcisen Sinn geben.

Das Argument der fehlenden Ausdehnung und Undurchdringlichkeit endlich ist von gar keiner Bedeutung. Nach der Feststellung dieser Begriffe §. 11. kann die Wärme immerhin ausgedehnt genannt werden, sofern sie irgend einen Raum einnimmt oder irgend an einem Orte existirt, wenn gleich dieser Raum unmefsbar klein nnd somit auch unbestimmbar ist. Wären die Gasarten nicht sperrbar, so könnte ihre Ausdehnung eben so wenig nachgewiesen werden, und bei den in höchster Feinheit verbreiteten riechbaren Stoffen ist dieses noch einleuchtender der Fall. Auf gleiche Weise ist die Undurchdringlichkeit gleichfalls nicht nachzuweisen, aber eben so wenig die Abwesenheit dieser Eigenschaft; denn bei nicht gesperrten Gasarten kann sie auch nicht factisch dargestellt werden. Ist aber die Ausdehnung durch Wärme eine Folge des zwischen die materiellen Körpertheilchen dringenden Wärmestoffes, so zeigt sich in diesem Phänomenene die stärkste, dem Eindringen anderer Körper entgegenstrebende, Kraft. Es ergiebt sich sonach, dafs die Annahme eines materiellen Wärmestoffes der Erfahrung durchaus nicht widerstreite, vielmehr den bekannten Thatsachen in mehrfacher Hinsicht angemessen sey.

Die gewöhnliche Theorie nimmt daher auch einen eignen Wärmestoff an [1]), welcher entweder mit dem Lichte identisch oder für sich bestehend ist. (Ueber das Verhältnifs zwischen Licht und Wärme s. §. 148.). Für die Existenz eines Wärmestoffes spricht das Verhalten der Körper hinsichtlich der specifischen und latenten Wärme, die Vor-

1) Vergl. Lavoisier in Mém. de l'Acad. 1771. p. 420.

bereitung chemischer Verbidungen durch dieselbe, z. B. die Verbindung des Knallgas zu Wasser durch Temperaturerhöhung über den Siedepunct [1]) die der Schwere nicht folgende Bewegung der Dämpfe im luftleeren Raume u. a. Das wichtigste Argument liegt ohne Zweifel darin, daſs die Grundlagen der Gasarten, namentlich des Sauerstoffgas, welche leztoren wir als Verbindungen jener ponderabelen Grundlagen mit Wärme anzusehen veranlaſst werden, sich nicht stets, sondern bloſs unter Bedingungen einer durch höhere Temperatur verstärkten Affinität mit andern Körpern verbinden, z. B. Metalle, welche das Wasser zerlegen, verbinden sich mit der Grundlage des Sauerstoffgas nur in höherer Temperatur [2]). Daſs wir das eigentliche Wesen dieses Wärmestoffes nicht anzugeben wissen, sondern bloſs dessen Verhalten und die darüber stattfindenden Gesetze kennen, beweiset nicht bloſs durchaus nichts gegen diese Hypothese, sondern besagt im Wesentlichen nur, daſs dieser Wärmestoff ein eigenthümlicher, von aller ponderabelen Materie sehr verschiedener und auch von den sogenannten unwägbaren Stoffen sich unterscheidender sey, dessen Eigenthümlichkeiten wir aber aus den Erscheinungen kennen zu lernen uns bemühen müssen.

Ob die Wärme schwer sey ist verschiedentlich untersucht, hauptsächlich durch Marat [3]), indem er heiſse Kugeln wog, durch Fordyce [4]), welcher Eis schwerer fand als das daraus erhaltene Wasser, durch Büffon [5]), welcher erhitzte Körper schwerer zu finden glaubte als kalte, durch Moscati [6]) und Thom. Ebel [7]), welche Hitze und Kälte bei ihrer Vereinigung erzeugende Substanzen mischten und ihr Gewicht vor und nach der Vereinigung bestimmten, wonach sie bei jenen eine Abnahme, bei diesen eine Zunahme des Gewichts erhalten haben wollten.

---

[1]) S. Davy in Journ. de Phys. 1817. febr. 157.

[2]) Fourier questions sur la theorie physique de la chaleur royonnante in Ann. de chim. VI. 259. Vergl. J. T. Mayer comment. an var a caloris phaen. pendeant ab actione pecul mat. cet. Comm. Gött. 1803. T. XV. 1.

[3]) Physische Untersuchungen über d. Feuer. Uebers. von Weigel. Leipz 1782. p. 39.

[4]) S. Phil. Trans. LXXV. v. Crell chem. Ann. 1786. I. 161. Gren Journ. VII. 30. Scherer Journ. II. 735.

[5]) Hist. nat. Suppl. II p. 11.

[6]) Bibl. Brit. XLVI. 403.

[7]) Medical Repos. 1805. Jan.

Verdienten die lezteren Versuche volles Zutrauen, da sie mit vieler Sorgfalt angestellt wurden, und deswegen allerdings einer Wiederholung werth sind, so müſste man ein gewisses Gewicht der Wärme annehmen, inzwischen sind sie zur Feststellung eines so wichtigen Satzes keineswegs genügend, wohl aber verdienen sie den späteren von Rumford entgegengesetzt zu werden. Lezterer brachte nämlich Flaschen mit Weingeist, Quecksilber und Wasser auf empfindlichen Waagen ins Gleichgewicht, lieſs sie von 61° F. bis 29° F. erkalten, bei welcher Temperatur das Wasser in Eis verwandelt war, und fand nicht den mindesten Unterschied bei der Anwendung einer Waage, welche auf ein Millionth. des Totalgewichts noch einen Ausschlag gab [1]). In Gemäſsheit dieser Thatsachen hält man die Wärme für unwägbar; allein es ist klar, daſs die erkalteten Flaschen offenbar ein geringeres aërostatisches Gewicht haben muſsten, weil ihr vermindertes Volumen weniger Luft aus der Stelle trieb, das entstandene Eis aber nahm an Umfang zu, und da dieses durch die Waage nicht angezeigt wurde, so war sie für sehr feine Gewichts-Unterschiede offenbar zu wenig empfindlich. Gerade diese so allgemein gültig betrachteten Versuche beweisen also nicht bloſs nicht gegen die früheren, sondern überall nichts, und die Sache ist also noch als unentschieden zu betrachten.

Sollte es sich fernerhin bestätigen, daſs die Wärme unwägbar sey, welches nur in so weit geschehen kann, als sich zeigen läſst, daſs auch die empfindlichsten Waagen ihr Gewicht anzuzeigen nicht vermögen, so ist damit ihre absolute Unwägbarkeit noch eben so wenig erwiesen, als durch die älteren Versuche die unmeſsbare Geschwindigkeit des Lichtes; denn auch leztere müſsten wir bis auf diesen Augenblick annehmen, wenn nicht Mittel gefunden wären, seine Bewegungen durch himmlische Räume zu messen. Es scheint mir indeſs aus genügenden Thatsachen hervorzugehen, daſs die Wärme auf gleiche Weise, als sie einzelne Körper nur almälig verläſst, um an andere überzugehen, gegen unsere Erde gravitirt, und diesemnach also eine Atmosphäre um dieselbe bildet, welche mit zunehmender Entfernung dünner wird, und zulezt ganz schwindet. Es folgt dieses unverkennbar aus der mit der Höhe abnehmenden Wärme, welche Abnahme gröſser ist, als durch die Verdünnung der Luft bewirkt wird, woraus man sie bisher

---

1) Phil. Trans. LXXXIX. 179. Gilb. Ann. V. 206. Scherer Journ. V. 53.

abgeleitet hat §. 231., ja die Wärme müfste unsere Erde ganz verlassen, und sich endlich im unmefsbaren Raume verlieren, wenn eine sie zurückhaltende Anziehung nicht stattfände, insofern die bisher fast allgemein angenommene Ersetzung derselben durch Bindung des Lichtes wegfallen mufs, wenn die Undulationstheorie bei dieser Potenz angenommen wird, mit welcher weder eine Verwandlung des Lichtes in Wärme noch ein Verbundenseyn von Wärmestrahlen mit den Lichtstrahlen ohne unerlaubte Willkühr in den Behauptungen verträglich ist. Auch Barthol. de Sanctis schliefst aus einer grofsen Reihe von Versuchen, dafs die Wärme eine individuelle, gegen die Erde gravitirende Substanz sey [1], allein seine Argumente sind zur festen Begründung dieses Satzes nicht genügend.

§. 82.

Die Wärme dehnt alle Körper aus, und man betrachtet sie daher nicht mit Unrecht als allgemeines repulsives Princip, ohne bis jezt bestimmt zu haben, ob es aufserdem eine Repulsion gebe, und ob die Wärme an sich diese Kraft selbst, oder die leztere an sie, als ihr materielles Substrat, unzertrennlich und dem eigentlichen Wesen nach ihr zukommend gebunden sey. Die Ausdehnung durch Wärme, und eben so die Zusammenziehung durch Kälte kommt an Stärke der Zusammendrückbarkeit und Cohäsion gleich.

Ueber die Gröfse der Ausdehnung verschiedener Körper durch Wärme kann hier nicht gehandelt werden, weil zuvor ein Mafs der lezteren gegeben seyn mufs. §. 85.

Die Wärme zeigt sich in zahlreichen Erscheinungen als der Anziehung entgegenwirkend. So vermindert sie die Stärke der Cohäsion der Metalle, der Adhäsion, womit die Flüssigkeiten an festen Körpern, namentlich den Cohäsionsplatten anhängen, und in Leidenfrost's bekanntem Versuche scheint sie die Adhäsion des Wassers an sehr heifsem Metalle ganz aufzuheben §. 89. Am merkwürdigsten sind aber Fresnel's neueste Versuche, wonach leichte Körper, wenn sie nach Art der Coulombschen Waagebalken höchst beweglich aufgehangen sind, durch andere in Folge

---

[1]) Journ. de Phys. 1811. fevr.

blofser Erwärmung abgestofsen werden [1]). Da das Phänomen sich im luftleeren Raume noch auffallender als im luftvollen zeigte, ein elektrischer und magnetischer Einflufs aber völlig ausgeschlossen war, so hätte sich hierin die Wärme für sich allein als repulsives Princip gezeigt, statt dafs sie in andern Fällen nur die Anziehung aufhebt, und, wie die Flächenkraft, nur in unmefsbare Entfernungen wirkt.

Die Ausdehnung der Körper durch Wärme ist allgemein, und wenn einige eine Ausnahme von diesem Gesetze zeigen, so liegt die Ursache hiervon in anderweitigen Bedingungen. Hölzer und Thon werden durch Hitze an Volumen kleiner und Porcellan durch Zusammensinterung sehr bedeutend. Die Ursache hiervon liegt aber in der Entfernung der ausdehnenden Feuchtigkeit, denn diese Substanzen werden zugleich bedeutend leichter, und ausgetrocknete Schmelzöfen von thonhaltigen Substanzen gebauet dehnen sich durch Hitze so bedeutend aus, dafs sie starke eiserne Bänder zersprengen, sobald sie einmal gehörig ausgetrocknet sind. Einige Körper, als insbesondere Wasser, Wismuth, Eisen u. a. dehnen sich beim Gestehen, also bei der Temperaturverminderung, aus, allein diese Eigenthümlichkeit ist eine Folge der dann stattfindenden Krystallisation, indem sie, diesen Uebergang aus dem Flüssigkeitszustande in den der Festigkeit abgerechnet, dem allgemeinen Gesetze gleichfalls folgen. Beim Wasser ist die Sache allgemein bekannt §. 92., beim Wismuth läfst sich die Erscheinung leicht beobachten, wenn man dieses Metall in einem Tiegel schmelzt, oben erkalten läfst, in die erhärtete Decke ein Löchelchen sticht, und dann das flüssige Metall durch dasselbe aufsteigen sieht. Auch erstarretes Gufseisen schwimmt auf dem flüssigen, und ist also specifisch leichter, wird aber eben durch diese seine Ausdehnung beim Festwerden geeignet, die feinsten Eindrücke in den Formen auszufüllen. Man zeigt diese Ausdehnung der Körper durch Wärme an den sogenannten Temperamentfischen, kleinen Figuren aus Taffent mit einem eigenen Firnifs überzogen, welche durch die feuchte Wärme der Hand sich nur an einer Fläche ausdehnen, und dadurch krumm gebogen werden; desgleichen an einer metallenen Kugel, welche kalt durch einen genau passenden Ring fällt, erwärmt aber auf demselben ruhet u. dgl.

Die Kraft, womit die Körper durch Wärme ausgedehnt und durch Kälte zusammengezogen werden, ist unglaublich

---

[1]) Ann. de Chim. et de Phys. XXIX 57.

stark, und kann wohl nur aus der unzählbaren Menge der hierbei in Conflict kommenden Elemente erklärt werden, wobei jedoch die namentlich bei der Ausdehnung sich thätig zeigende Repulsion große Aufmerksamkeit verdient. Bei den expansibelen Flüssigkeiten ist die Kraft der Wirkung bei ihrer Ausdehnung und Zusammenziehung der jedesmaligen Elasticität direct proportional, die tropfbaren Flüssigkeiten, welche keine Cohäsion, sondern Adhäsion haben, können diesemnach bei der Zusammenziehung keine große Wirkungen äußern, bei der Ausdehnung aber zeigen diese, eben wie die festen Körper bei der Ausdehnung und Zusammenziehung eine Kraft, welche derjenigen gleich ist, wodurch sie mechanisch ausgedehnt oder zusammengedrückt werden können. Tropfbare Flüssigkeiten zerreißen daher bei ihrer Ausdehnung durch Wärme nicht bloß gläserne, sondern auch metallene Gefäße, und metallene Stangen vermögen bei ihrer Zusammenziehung Lasten zu bewegen, welche den zur Ueberwindung ihrer absoluten Festigkeit erforderlichen nahe gleich sind. Molard benutzte diese Kraft der eisernen Anker, um gewichene Mauern eines großen und schwer belasteten Hauses wieder gerade zu richten [1]), auch hat man sie als allgemeines mechanisches Mittel zur Bewegung von Maschinen empfohlen [2]), obgleich es im Verhältniß zu andern bekannten Mitteln nicht mit Vortheil angewendet werden kann, wenn die Erwärmung und Erkältung durch künstliche Mittel hervorgebracht werden muß [3]). Eine Folge der Ausdehnung durch Wärme ist auch das Springen der eisernen Oefen, Platten u. s. w. insbesondere der gläsernen und porcellanenen Gefäße. Namentlich zerspringen die Böden der Gläser um so leichter, je dicker sie sind, wenn man sie erhitzt, weil das Glas ein schlecher Wärmeleiter ist, und die erhöhete Temperatur der einen Fläche sich daher der andern nicht schnell mittheilt. Die Dicke des Glases ist der dadurch vermehrten Cohäsion ungeachtet allezeit nur ein unbedeutendes Hinderniß gegen die ungeheure Kraft der Ausdehnung. Man vermeidet das Zerspringen dadurch, daß man die Wärme durch einen schlechten Leiter, Papier u. s. w. zuführt, durch Auskochen des Porcellan's und langsames Erkaltenlassen im Wasser, weil hierdurch die Massentheile sich besser lagern. Das Abkühlen

---

[1]) Biot Traité T. I. p. 181.

[2]) Ann. de Chim. et Phys. IX. 92.

[3]) Ebend. p. 136.

des Glases ist aus gleichen Gründen ein zweckmäfsiges Hülfsmittel, auch wurde das Auskochen desselben als absolute Sicherung gegen das Zerspringen empfohlen [1]), aber keineswegs als bewährt gefunden, obgleich wiederholtes langsames Erhitzen und Abkühlen seine Sprödigkeit, und somit auch die Gefahr des leichten Zerspringens ausnehmend vermindert.

Die Ausdehnung der Metalle macht in vielen Fällen die *Compensatoren* erforderlich, z. B. bei den eisernen Röhren der Wasserleitungen, bei den Leitungsröhren zur Gasbeleuchtung und selbst bei denen, durch welche der Wasserdampf strömt, um Zimmer damit zu erheitzen. In allen diesen Fällen, wenn Röhren zu compensiren sind, berechnet man §. 84 nach der bekannten Gröfse der Ausdehnung und dem Unterschiede der Temperaturen, denen sie ausgesetzt werden, die erforderliche Compensation, und macht die geeigneten Vorrichtungen, dafs gewisse Theile der Röhren sich Luft- oder Wasser-dicht, so weit es das Bedürfnifs erfordert, in einander hin und herschieben. Bei den Wasserleitungen kann man diesen Mechanismus in den Kasten anbringen, in denen sich die Luft ansammelt (§. 47). Bei den Uhrpendeln, wo die Compensation am nöthigsten ist, §. 34. N. 8., hat man verschiedene Arten derselben in Vorschlag gebracht, und meistens wählt man die bekannten Rostpendel aus Eisen-, Messing- und Zink-Stangen. Weil dieses indefs die Berechnung und das Probiren erschwert, aufserdem aber die Anschaffung vertheuert, so scheint mir eine einfache Zusammensetzung aus Eisen- und Zink-Stangen Fig. 80] bei weitem am zweckmäfsigsten zu seyn. Bei einem solchen ist c d das Stück Uhrfeder, woran das Pendel hängt, d e eine kurze eiserne Stange, a a′ und b b′ sind zwei eiserne Stangen zwischen den unbeweglich mit ihnen verbundenen Trägern a b; a′ b′. Auf diesem unteren ruhen die wieder aufwärts gehenden Zinkstangen $\gamma\delta$; $\gamma'\delta'$, und tragen die Querstange r r′, welche vermittelst zweier Löcher auf den äufseren Stangen der Haltbarkeit wegen verschiebbar ist. Von der Querstange r r′ geht die eiserne Stange i k herab durch den unteren Querbalken a′ b′, und trägt die Linse C, welche mit ihrem Centrum auf einer durch die bei k befindliche Schraube höher und niedriger zu stellenden, über das untere Ende der Stange geschobenen Röhre ruhet. Diese lezte Röhre und das in ihr befindliche Ende der Stange

---

[1]) Ann. de Chim. et de Phys. IX. 422.

compensiren sich also einander selbst, und erhalten demnach das Centrum der Linse allezeit an dem nämlichen Orte der Eisenstange, die Ausdehnung des Eisens und des kurzen Endes der Stahlfeder aber, welche man unbedenklich gleich setzen kann, müssen durch die aufwärts gerichteten Zinkstangen compensirt werden. Um hiernach die Länge der hierzu erforderlichen Zinkstangen zu finden, muſs man überlegen, daſs cC, die ganze Länge des Pendels, als eine eiserne Stange betrachtet werden kann, wenn man das unterhalb des Querbalkens a′b′ bis C herabgehende Ende der eisernen Stange ik als einen zu den Stücken ce und aa′ gehörigen Theil betrachtet, deren gesammte Ausdehnung durch die aufwärts gehenden Zinkstangen $\gamma\delta$; $\gamma'\delta'$ compensirt werden muſs. Je länger aber diese werden, um so länger wird auch das Ende der wieder herabgehenden Eisenstange von i an bis an den Querbalken a′b′ werden. Indem aber die lezteren gleich lang sind, so heiſse ihre gemeinschaftliche zu suchende Länge $= x$, die Länge des Pendel cC $= a$; die lineare Ausdehnung des Eisens $= \delta$; des Zinkes δ' (§. 85), so muſs für jede Temperatur $a\delta + x\delta - x\delta' = 0$ seyn, woraus $x = a\frac{\delta}{\delta - \delta'}$ gefunden wird. Wäre z. B. die Länge des Pendels 38 Z.; die Ausdehnung der Linse $= \delta = 0{,}001224$; des Zinkes $= \delta' = 0{,}002968$, so müſsten die Zinkstangen $= 38\frac{0{,}001224}{0{,}002968 - 0{,}001224} = 38\frac{1224}{1744} = 26{,}669\ldots$ Zolle lang seyn. Weil indeſs die bei dieser Berechnung gebrauchten Gröſsen nicht absolut genau seyn können, indem sogar die absolute Länge des Pendels nach dem Verhältniſs des Gewichtes der Stangen zu dem der Linse verschieden ist, so müssen die Zinkstangen oben mit Schrauben versehen seyn, um im Falle zu starker Compensation den Querbalken rr′ mehr herabzulassen, im entgegengesetzten aber höher hinaufzuschrauben, wobei sich von selbst versteht, daſs die Schraube bei k allezeit um eine gleiche Gröſse nach entgegengesetzter Richtung geschroben werden muſs.

Noch einfacher ist die Quecksilber-Compensation. Ein Fig. 81] solches Pendel besteht wiederum aus dem Stück Uhrfeder cd und einer bloſsen Eisenstange de, welche unten steigbügelartig in die Zweige ef; ef′ ausläuft. In dem Boden dieses Steigbügels ist die Mikrometerschraube g befindlich, mit der durch sie getragenen, zur Regulirung der Uhr höher und niedriger stellbaren Platte, auf welcher das gläserne

2) *Weingeistthermometer* haben einen Vorzug in der grofsen Ausdehnung dieser Flüssigkeit [1]) und der leichten Beobachtung ihres Standes in der Röhre, wenn sie gefärbt ist; allein man hat diese Apparate dadurch verdächtig gemacht, dafs der Weingeist seine regelmäfsige Ausdehnung mit der Zeit verlieren soll. Dieses wollen schon Halley [2]) und Musschenbroek [3]) beobachtet haben, neuerdings aber Flaugergues [4]). Im hiesigen Cabinette befindet sich gleichfalls ein sehr altes Weingeistthermometer, welches ausnehmend unempfindlich ist, so dafs ich der eben ausgesprochenen Behauptung beitreten mufs, auch läfst sich dieselbe aus dem Grunde erklären, dafs die Bestandtheile des Weingeistes durch eine lange Zeitdauer ein von dem früheren verschiedenes Mischungsverhältnifs erhalten können. Pictet [5]) dagegen behauptet, ein von ihm beobachtetes Weingeistthermometer habe sich von 1743 bis 1822 unverändert erhalten, dagegen zeige ein Quecksilberthermometer einen constanten Fehler von + 0,5 C. Lezterer Vorwurf hängt mit einem später zu untersuchenden allgemeinen Fehler der Thermometer zusammen. Will man die Weingeistthermometer nicht bis zu einer so grofsen Reihe von Jahren aufheben, so würde der gerügte Fehler nicht in Anschlag zu bringen seyn, wenn er anders überall existirt, allein bei den Weingeistthermometern kommen noch andere Bedingungen in Betrachtung. Vor allen Dingen ist die Frage, von welcher Reinheit der anzuwendende Weingeist gewöhnlich sey und seyn müsse, ob man absoluten Alkohol oder mit Wasser verdünnten zu wählen habe. Absoluter Alkohol ist nur mit Mühe zu erhalten, und bleibt nicht rein, wenn man ihn mit den färbenden Substanzen zusammenbringt; je mehr er absolut ist, desto leichter siedet er, und die aus ihm verfertigten Thermometer sind daher zum Messen höherer Wärmegrade nicht mehr geeignet, aber eben dieser gefrjert nicht bei den höchsten Graden der jezt bekannten natürlichen und künstlichen Kälte, und da das Quecksilber diese allerdings schätzbare Eigenschaft nicht besitzt, so sind Weingeistthermometer für die höheren Grade der Kälte unentbehrlich. Von welcher Reinheit aber der

1) S. Landriani in Brugnatelli Giorn. 1818. p. 338.
2) Phil. Trans. Nro. 197. Com. Pet. IX. 345.
3) Cours de Phys. II. 363.
4) Journ. de Phys. LXVI. 295. LXVII. 123.
5) Bibl. univ. XIX. 62.

Weingeist seyn müsse, dieses ergiebt sich erst aus den §. 85. anzustellenden Untersuchungen über den Gang der Ausdehnung bei verschiedenen Flüssigkeiten.

3) *Quecksilberthermometer* sind die gebräuchlichsten und im Allgemeinen die besten. Man kann diese Flüssigkeit leicht überall von gleicher Reinheit erhalten, sie siedet bei hohen Wärmegraden, gefriert an den wenigsten Orten der Erde durch natürliche Kälte, kann als einfacher Stoff keine Veränderung ihres Mischungsverhältnisses erleiden, hängt sich nicht an die Wandungen der Röhren und zeigt bei nicht zu groſsen Unterschieden der Wärme eine gleichmäſsige Veränderung des Volumens.

4) Sonstige, zur Verfertigung von Thermometern geeignete Substanzen giebt es verschiedene, von denen aber kaum überall eine angewandt wird, wenn nicht etwa der Salmiakgeist. Als sehr geeignet wegen des auſserordentlich hoch liegenden Siedepunctes und der sehr regelmäſsigen Ausdehnung lieſse sich übrigens die Schwefelsäure empfehlen, das rectificirte Petroleum wegen des tief liegenden Gefrierpunctes, der Schwefelkohlenstoff wegen der lezten Eigenschaft und seiner starken Ausdehnung, und noch verschiedene andere Flüssigkeiten; inzwischen werden das Quecksilber und der Weingeist nicht leicht aus ihrem einmal erworbenen Rechte, für diese Apparate ausschlieſslich bestimmt zu seyn, verdrängt werden, und man darf auch mit Grunde behaupten, daſs beide, unter gehörigen Bedingungen, hierzu völlig genügen, wenn man das Quecksilberthermometer für die Temperaturen von — 20° C. an bis zu beliebiger Höhe, das Weingeistthermometer aber von — 10° C. abwärts gebraucht.

Die Thermometer bestehen aus einem erweiterten Gefäſse mit Quecksilber und einer im Verhältniſs zum Inhalte von diesem so engen Röhre, daſs die Ausdehnungen des Metalls in Folge vermehrter Wärme durch die Zunahme der Länge des in der Röhre enthaltenen Cylinders genau gemessen werden können. Das Gefäſs hat meistens die Form einer Kugel oder eines Cylinders, und andre Künsteleien an demselben, z. B. wenn es aus zwei vereinten, unten zusammengebogenen Röhren besteht, oder aus einer spiralförmig gewundenen Röhre, sind ohne Nutzen. Wesentlich ist dabei bloſs der Umstand, daſs die Grade sich so viel leichter ablesen lassen, je dicker die Quecksilbersäule in der Röhre ist, daſs hierzu aber eine gröſsere Menge Quecksilber im Gefäſse erfordert wird, welche ebendaher die Veränderun-

gen der Wärme minder leicht annimmt. Für feine Beobachtungen sind daher die kleinen Kugeln oder Cylinder vorzüglich zu empfehlen, und manche derselben werden auch muschelförmig eingedrückt, um einige Tropfen leicht siedender Flüssigkeiten hineinzugiefsen, und ihren Siedepunct zu bestimmen.

Wesentlich bei den Thermometern ist das gleichmäfsige Caliber oder die überall gleiche Weite der Röhren, welche entweder selbst rund im Innern eine cylindrische Höhlung haben, oder flachgedrückt eine gleichfalls flache, bandförmige, wonach dann der enthaltene flache Streifen Quecksilber von seiner breiten Seite aus leichter beobachtet wird. Leztere Form läfst sich den Röhren auf den Glashütten leicht geben, und hat grofse Vorzüge, indem bei einem kleinen Inhalte der Thermometerkugel die bei geringerer Dicke so viel breitere Quecksilbersäule in der Röhre besser gesehen werden kann. Nach der Art der Fabrication solcher Röhren, indem in einen runden, oder für flache Röhren platt gedrückten, Klumpen Glas eine Luftblase gebracht und diese dann nebst dem Glase in die Länge gezogen wird, ist es unmöglich, mehrere Fufse lange, überall im Innern gleich weite Röhren zu erhalten, und die Künstler müssen sie daher genau calibriren. Dieses geschieht am einfachsten wenn man etwas Quecksilber hineinbringt, die Länge des Raumes, welchen dieses einnimmt, mit einem Cirkel, oder einfacher mit einer nach dem Mafse geschnittenen Charte sorgfältig mifst, das Quecksilber in der Röhre fortfliefsen läfst, und genau beobachtet, ob seine Länge stets unverändert bleibt. Gewissenhafte Künstler wenden hierauf den gröfsten Fleifs, und schneiden aus der ganzen Röhre nur denjenigen Theil für Thermometer aus, welcher nicht die geringste Abweichung wahrnehmen läfst. Da dieses nur ein geringer Theil des Ganzen ist, und von gröfserer Länge nicht leicht gefunden wird, so sind die Thermometer desto theurer, je länger sie sind. Das richtige Caliber kann von — 5° C. bis etwa 60° C. leicht durch Vergleichung mit andern genauen Thermometern gefunden werden, und auch minder gewissenhafte Künstler sorgen daher bei diesem Theile meistens für richtiges Caliber, unter — 5° C., hauptsächlich — 10° C. darf man gemeine Thermometer nicht mehr für zuverlässig halten, die vorzüglichern aber, von anerkannt guten Künstlern verfertigt, haben in ihrer ganzen Länge insoweit gleiches Caliber, dafs die Abweichung auf die Beobachtungen ohne Einflufs ist. Hätte man Röhren

von nicht genauem Caliber, so könnte man nach dem Vorschlage von Gay-Lüssac [1]) die Skale den Unterschieden ihrer Weite anpassen, indem man die Längen der einzelnen Grade der Weite der Röhre umgekehrt proportional machte. Bessel hat aufserdem eine von allen Physikern mit grofsem Beifall aufgenommene Methode angegeben, das Caliber schon fertiger Thermometer zu prüfen [2]), allein ich nehme Anstand sowohl jenes als auch dieses Verfahren hier mitzutheilen; denn obgleich es wohl ausgemacht ist, dafs die Höhlungen der Röhren nicht geometrisch oder absolut cylindrisch sind, so darf doch ein für seinen Ruf besorgter Künstler dem Naturforscher für genaue Beobachtungen kein Thermometer überliefern, dessen Caliber noch einer Correction bedarf. Dieser Satz mufs schon aus dem Grunde gelten, weil zu Messungen aller Art eine gewisse Fertigkeit erfordert wird, welche nur durch Uebung erlangt werden kann, und daher bei dem Künstler in Folge zahlloser Wiederholung der nämlichen Operation sehr grofs seyn mufs. Insofern aufserdem das Verfahren bei rohen Röhren ungleich leichter ist, als bei verarbeiteten, so könnte man gar Fehler hineincorrigiren; endlich aber erfordert die Auffindung der Correction ein Trennen des Quecksilbers in der Röhre in mehrere Theile, welches auch bei den besten Thermometern mit einiger Gefahr verbunden ist, weil zuweilen die Vereinigung nicht wieder so innig wird, als sie ursprünglich war, woraus neue Fehler erwachsen können. Ist man indefs nicht gewifs, vom Künstler so genau calibrirte Röhren erhalten zu haben, dafs die daraus entstehenden Fehler für verschwindend gelten können, dann ist eine Correction unentbehrlich, wenn die Beobachtungen die genügende Schärfe erlangen sollen.

Die Hauptsache bei den Thermometern ist die Bestimmung der festen Puncte, welche bei den ersten Versuchen, solche Mefswerkzeuge zu verfertigen, die gröfsten Schwierigkeiten machte. Newton [3]) schlug vor, man solle die Wärme des Blutes als eine mittlere annehmen, für die Zusammenziehung der zur Wärmemessung genommenen Flüssigkeit bis zum Puncte des gefrierenden Wassers dann 12 Grade wählen, so werde das siedende Wasser 33 bis 34 von diesen zeigen, eine mit der gegenwärtigen Skalentheilung

---

1) Biot Traité. I. 46.

2) Gilb. Ann. LXXXII. 227.

3) Opuscula II. 419

sehr genau zusammenfallende Bestimmung. Die Academie del Cimento schlug die Temperatur in tiefen Kellern als mittlere vor, und was unter diese falle, sollte durch Grade der Kälte, was darüber, durch Grade der Wärme bezeichnet werden. Zwei Männer gelangten im Anfange des vorigen Jahrhunderts, der eine durch eine richtige, der andere durch eine falsche Theorie geleitet, jener zu einer nicht genauen, dieser zu einer genauen Bezeichnung der Skalentheile, und zur Verfertigung übereinstimmender Thermometer. Reaumür erkannte die unveränderliche Temperatur des schmelzenden Eises und des siedenden Wassers, wählte nicht völlig absoluten Alkohol zur thermometrischen Flüssigkeit, und fand durch Abmessung mit kleinen Bechern, daſs die Ausdehnung desselben zwischen diesen beiden Puncten 0,08 seines Volumens betrug. Diesemnach bezeichnete er den Stand der Weingeistsäule bei jenem Puncte mit 0, bei diesem mit 80, und theilte den ganzen Zwischenraum in gleiche Theile [1]), wodurch aber seine Skale unrichtig wurde, da die Ausdehnung des Weingeistes in höheren Graden zunimmt. De Lüc [2]) erkannte und verbesserte dieses zuerst gründlich, indem er statt des Weingeistes Quecksilber wählte, die Bestimmung der festen Puncte und die Eintheilung zwischen denselben beibehielt, und hiernach richtige Thermometer einführte. Hiernach hat man also zuerst die *Reaumürsche* oder achtzigtheilige Skale.

Daniel Gabriel Fahrenheit, ein Verfertiger von Wettergläsern in Danzig, nahm die Kälte von 1709 als das Maximum an, was aber durch Salmiak und Schnee hervorgebracht werden könne; hierhin setzte er den absoluten Nullpunct, wählte dann für den Siedepunct des Quecksilbers 600 und zur Bezeichnung der Blutwärme 96 Grade. Schon 1714 erhielt Wolf von ihm zwei übereinstimmende Thermometer, welches allgemeines Aufsehen erregte. Weil es indeſs klar ist, daſs er die beiden Normalpuncte nicht bei jedem Thermometer erhalten konnte, so unterliegt es keinem Zweifel, daſs er sich ein Normalthermometer verfertigt hatte, wonach er die übrigen graduirte, und damit war für ihn also die Uebereinstimmung leicht zu erhalten. Auch diese ersten Thermometer waren mit Weingeist gefüllt, jedoch verfer-

[1]) Mém. de Paris 1730. 452.

[2]) Ueber d. Atmosph. I. 554. Nach de Lüc würde Reaumür's Thermometer mit dem Quecksilberthermometer übereinstimmen, wenn man bei jenem den Raum von 0 bis 85 Grade in 80 Theile theilt.

tigte Fahrenheit zehn Jahre später Quecksilberthermometer, wobei er das ursprüngliche Null beibehielt, als zweiten Punct aber den des siedenden Wassers wählte und mit 212 bezeichnete, welches demnach die *Fahrenheitsche* Skale gab [1]).

De l'Isle meinte, man müsse nur einen festen Punct annehmen, und hierzu wählte er den Siedepunct des Wassers, welchen er mit 0 bezeichnete. Weil dann aber das Quecksilber sich nach seinen Messungen von hieraus bis zum schmelzenden Eise um 0,0150 seines Volumens zusammenziehen sollte, so bezeichnete er den lezteren Punct mit 150, und gab so die nach ihm benannte de l'Islesche Skale, welche von allen übrigen abweichend die Grade herabwärts zählt [2]). Ungleich zweckmäfsiger war der durch Celsius [3]) gethane Vorschlag, bei der Graduirung der Thermometer die absolute Ausdehnung der in ihnen enthaltenen Flüssigkeit zu vernachlässigen, und statt dessen lieber den Raum zwischen den festen Puncten in 100 Theile als runde, und hierfür am angemessenste Zahl zu theilen. Dieser so einfache und nahe liegende Gedanke veranlafste die *Celsiussche* oder hunderttheilige Skale, welche indefs lange Zeit blofs in Schweden Eingang fand, und daher auch die Schwedische genannt wird, statt dafs man in Frankreich und Deutschland sich der Reaumürschen, in England der Fahrenheitschen bediente, bis die Einführung des metrischen Systems in Frankreich der hunderttheiligen den gebührenden Vorzug verschaffte, welche daher auch jezt sehr allgemein gebraucht wird, und allein die herrschende zu werden verdient. Aufser diesen vier Skalen giebt es noch einige andere, welche aber keine Erwähnung verdienen, und blofs die durch La Lande [4]) in Vorschlag gebrachte möge hiervon eine Ausnahme machen, obgleich sie eine grofse Verwirrung erzeugen müfste, wenn sie eingeführt würde. Sie setzt das 0 bei 9°, 5 R. und 132, 8 bei 80° R.

Es ist durchaus nicht schwer, wohl aber bei öfterer Wiederholung langweilig und zeitraubend, die Grade der einen Skale in die einer andern zu verwandeln, weswegen auch

1) Acta Erud. Lips. 1714. p. 380. Phil. Trans. 1724. Nro. 381.

2) Mém. pour servir à l'hist. et aux progrès de l'astron. et de la geographie phys. Petersb. 1738. 4. p. 267.

3) Schwed. Abh. 1742. p. 187.

4) Journ. de Phys. LVII. 454. Voigt Mag. VII. 467. Gilb. Ann. XVII. 102.

die Einführung nur einer Skale sehr wünschenswerth seyn würde. Wenn die ohnehin nur wenig gebräuchliche de l'Islesche übergangen wird, so theilen die übrigen drei Skalen, welche durch R., C. und F. bezeichnet werden mögen, den Raum zwischen den beiden festen Puncten in 80, 100 und 180 Theile, und das einfachste Verhältniſs derselben ist also 8 : 10 : 18 oder 4 : 5 : 9, wobei aber zu bemerken ist, daſs die Fahrenheitschen Grade nicht mit 0 sondern mit 32 anfangen. Hiernach sind also t Grade R. $= {}^5/_4$ t Grade C. und $^9/_4$ t + 32 Grade F.; ferner sind t' Grade C. $= {}^4/_5$ t' Grade R. und $^9/_5$ t' + 32 Grade F. Endlich sind t'' Grade F. = (t'' — 32) $^4/_9$ Grade R. und (t'' — 32) $^5/_9$ Grade C. Daſs diese Formeln sowohl für Grade über als auch für solche unter dem Gefrierpuncte gelten, fällt bei der Reduction der achtzigtheiligen und hunderttheiligen deswegen von selbst in die Augen, weil beide gleichmäſsig von 0 ausgehen, für die Fahrenheitschen möge es in folgenden Beispielen gezeigt werden. Wären 27° gegeben, so fielen diese schon unter den Gefrierpunct, und man erhielte (27 — 32) $^4/_9$ R. $= - {}^{20}/_9 = - 2\ {}^2/_9$ R.; oder (27 — 32) $^5/_9$ C. $= - {}^{25}/_9$ $= - 2\ {}^7/_9$ C. Sollten aber — 12° F. reducirt werden, so gäbe dieses (— 12 — 32) $^4/_9$ R. $= - 44 \times {}^4/_9 = - {}^{176}/_9$ $= - 19\ {}^5/_9$ R. oder (— 12 — 32) $^5/_9$ C. $= - 44 \times {}^5/_9$ $= - {}^{220}/_9 = - 24\ {}^4/_9$ C. Diese Aufgabe ist bei den Thermometern bei weitem die mindest schwierige, dagegen aber verdient die genaue Bestimmung der festen Puncte noch eine eigene Betrachtung.

1) Der sogenannte *Gefrierpunct*, auch *Eispunct* und *Aufthaupunct* genannt, das 0 der achtzigtheiligen und der hunderttheiligen Skale, ist keineswegs der eigentliche Gefrierpunct, oder derjenige Punct, welchen das Thermometer im Wasser zeigen würde, wenn dieses zu gefrieren anfängt, denn dieser ist unsicher und liegt auf allen Fall tiefer als das Null der Thermometer; vielmehr ist es der Punct des aufthauenden oder schmelzenden Eises, und man nennt ihn daher auch richtiger den *Punct des schmelzenden Eises* oder den *Aufthaupunct*, obgleich jene obere Benennung die gebräuchlichere ist, und richtig verstanden ohne Nachtheil beibehalten werden kann. Man giebt in der Regel an, derselbe werde erhalten, wenn man die Thermometerkugel in Wasser mit Eis oder Schnee einsenke, weil das Wasser sich nicht über diesen Punct erheben könne, so lange sich Eis in demselben befinde, und jede Zunahme der Wärme zum Schmelzen des vorhandenen Eises verwandt werde. Neuer-

dings aber wollte man finden, dafs alle ältere Thermometer den eigentlichen Eispunct nicht bei 0° hätten, sondern dafs dieser allezeit höher liege. Gourdon [1]) war der erste, welcher gefunden haben wollte, dafs alle ältere Thermometer den eigentlichen Eispunct über dem o der Skale hätten, und leitete dieses von der Ausdehnung des geringen Antheils Luft ab, welcher im Quecksilber zurückbleibe, und wegen des leeren Raumes über demselben sich ausdehne. Pictet [2]) fand das Nämliche beim Quecksilberthermometer, auch sollte das Thermometer der Pariser Sternwarte diese Unrichtigkeit zeigen, die allen diesen Apparaten eigen sey, und von einer verminderten Capacität der Glases herrühre. Eine so wichtige Frage wurde bald allgemein untersucht, am ausführlichsten durch Bellani [3]), Flaugergues [4]), welcher die Thatsache bestätigte, und aus dem Luftdrucke gegen die elastischen Wandungen der Kugeln oder Cylinder erklärte, u. a. Bestätigende Beobachtungen lieferten unter andern v Yelin [5]) an 21 Thermometern, wovon nur eines den Eispunct genau bei 0° hatte, drei denselben unter 0°, alle übrigen über 0°, so dafs der Unterschied bis 2° R. stieg, Kämtz [6]), insbesondere aber Marcet und de la Rive [7]), welche die Richtigkeit der durch Flaugergues gegebenen Erklärung dadurch nachwiesen, dafs sie Thermometer unter die Luftpumpe brachten, wo dann die Quecksilbersäule nach Wegnahme des äufseren Druckes sank und nach Herstellung desselben stieg, eine bei der ausgemachten Elasticität des Glases nothwendige, und schon durch Taberati [8]) u. a beobachtete Erscheinung. Ist dieses richtig, so müssen alle, und gerade die besten Thermometer, einen constanten Fehler haben, dessen Existenz blofs einige englische Physiker [9]), und hauptsächlich van Moll [10]) nach einer Prüfung einer gröfseren Zahl alter Thermometer bezweifelt haben. Sowohl theoretische Gründe, als auch die

[1]) Giornale di Fisica par Brugnatelli. 1821. p. 340. Bibl. univ. XIX. 154.

[2]) Bibl. univ. XIX. p. 62.

[3]) Bibl. univ. XIX. 252.

[4]) Ebend. XX. 117.

[5]) Kastner Arch. III. 109.

[6]) Schweigg. Journ. N. F. X. 220.

[7]) Bibl. univ. XXII. 265.

[8]) S. Comment Soc. Bonon. II. I. 319. II. III. 237.

[9]) Annals of Phil. 1823. Jnl. p. 74.

[10]) Edinb. Phil. Journ. XVII. 196.

Erfahrung bestätigen die Richtigkeit dieses Zweifels. Würden nämlich die Thermometer erst nach der Verfertigung ihrer Skale luftleer gemacht, so müfste sich allerdings ein Einflufs des Luftdruckes auf das elastische Glas zeigen, allein da sie sämmtlich einige Zeit, meistens mehrere Tage vor der Bestimmung der festen Puncte luftleer gemacht werden, so geht die Zusammendrückung des Glases durch den Luftdruck der Bezeichnung des Gefrierpunctes voraus, und es streitet gegen die Natur der Elasticität, dafs dann durch die Länge der Zeit eine zunehmende Verminderung des Volumens der Quecksilberkugel stattfinden sollte, weil sie sonst zulezt zerdrückt werden müfste [1]. Es ist indefs grofse Vorsicht nöthig, den Gefrierpunct genau zu bestimmen, und wenn dieses in einem wärmeren Raume blofs durch Eintauchen in Wasser und Eis geschieht, so wird man ihn allezeit zu hoch finden, weil die Wärme des Thermometers selbst die Temperatur des umgebenden Wassers um so viel erhöhet, als der geringe Unterschied von etwa $0^{\circ},5$ R. beträgt, welcher übrigens bei minderer Vorsicht selbst 1° R. und darüber steigen kann. Wenn man dagegen vielen Schnee und ganz reines Wasser in einem Gefäfse mit einem Spatel zu einer breiartigen Masse rührt, oder besser so lange wartet, bis der Schnee sich darin verwandelt, in diese die Thermometerkugel senkt, und bei einer äufseren Temperatur von nicht mehr als etwa 5° C. etwa 10 Minuten so darin erhält, dafs sie stets von dem schmelzenden Schnee, und nicht von einer Schichte schon geschmolzenen Wassers umgeben ist, so findet man den Eispunct eben so constant als genau [2]. Dennoch aber ist man nicht versichert, ihn bei Wiederholung des nämlichen Verfahrens jederzeit bis auf 0,05 Grad völlig übereinstimmend zu finden, auch kann das Glas der Kugeln durch öftere starke Erwärmung leicht Veränderungen erleiden, welche den Thaupunct um 0,1 Grad und noch wohl mehr verrücken [3]. Die wenigsten Künstler bestimmen die festen Puncte bei jedem Thermometer un-

---

1) Egen in Gilb. Ann. LXXXVII. 348. will zwar eine zunehmende Erhöhung des Thaupunctes wahrgenommen haben, allein die Gröfse derselben war sehr unbedeutend, so dafs es fraglich ist, ob sie wirklich stattfand, um so mehr als die Erniedrigung desselben bei aufgebrochenen Thermometern nur zwischen 0,080 und 0,369. Graden C. betrug. S. ebend. p. 349.

2) Vergl. Egen in Gilb. Ann. LXXXVII. 343. Eben dieses Verfahren wendet Parrot nach brieflichen Mittheilungen mit gleichem Erfolge an.

3) S. Egen a. a. O. p. 350 ff.

mittelbar, sondern sie suchen zwei hinlänglich entfernte Puncte vermittelst eines genauen Normalthermometers im Wasser.

2) Diese Methode verdient allerdings den Vorzug, denn noch ungleich schwieriger ist die Bestimmung des zweiten festen Punctes, des sogenannten Siedepunctes, oder der Temperatur des siedenden Wassers. Schon das Verfahren selbst ist mit grofser Unbequemlichkeit verbunden, indem die aus dem Wasser stets aufsteigenden Dämpfe sich an die Thermometerröhre anlegen, und die Beobachtung der Höhe des Quecksilberfadens in derselben sehr erschweren, welche ohnehin wegen der stets aufsteigenden heifsen Dämpfe nicht leicht ist. Aufserdem geht aber aus den von Gay-Lyssac [1]), noch mehr aus den von Gmelin und mir angestellten Versuchen [2]) hervor, dafs die Substanz des Gefäfses und das Berührtwerden des Bodens durch die Thermometerkugel auf die Höhe des Siedepunctes einen merklichen Einflufs haben. Biot [3]) giebt daher an, man solle die Thermometer blofs in die Dämpfe des siedenden Wassers halten, allein Parrot [4]) hat durch eine schätzbare Reihe von Versuchen gezeigt, dafs durch dieses Verfahren die Bestimmung noch unrichtiger wird, welches insbesondere dann erfolgt, wenn man sich nicht eines sehr zweckmäfsigen Apparates bedient, und bei der Operation selbst nicht mit grofser Sorgfalt zu Werke geht. Es ist sonach, um hierüber kurz zu seyn, zur Bestimmung des Siedepunctes am besten, ein Gefäfs von Weifsblech, oder in Ermangelung dessen einen erdenen Topf mit unverletzter Glasur zu nehmen, darin so hoch Regenwasser zu giefsen, dafs die Thermometerkugel zwei Zolle vom Boden absteht und sich dann eben so hoch unter der Oberfläche des Wassers befindet, dieses in starkes Sieden zu bringen, und zugleich dafür zu sorgen, dafs das nicht eingetauchte Ende der Röhre gehörig von den aufsteigenden Dämpfen umgeben sey, weswegen entweder das Gefäfs selbst hinlänglich tief oder oben mit einem hohlen cylindrischen Aufsatzte zum Zusammenhalten der Dämpfe versehen seyn mufs. Gegen die aufsteigenden Dämpfe schützt man sich dann dadurch, dafs man ihnen seitwärts einen nicht zu engen Ausweg er-

---

1) Ann. de Chim. et de Phys. VII. 307.

2) Gilb. Ann. LVII. 221.

3) Traité 1. 41.

4) Mémoire sur les Points fixes du Thermomètre. Peterb. 1828. 4.

öffnet, das obere Ende des Thermometers aber nur so weit aus dem Deckel hervorragen läfst, als zur Bezeichnung des festen Punctes erforderlich ist. An die Stelle wohin der Siedepunct fällt, wird zweckmäfsig ein Faden um die Röhre gebunden, und dieser so lange verschoben, bis er genau die gesuchte Stelle bezeichnet. Übrigens ist eine absolut scharfe Bestimmung überall nicht zu erhalten, wenigstens nicht auf gleiche Weise als beim Thaupuncte; denn wenn die Skale des Thermometers lang ist, so bemerkt man stets eine Art hüpfender Bewegung, welche das Ende des Quecksilberfadens in der Röhre zeigt, und welche nur dann die genaue Bestimmung des Siedepunctes weniger hindert, wenn das Wasser über einer gleichmäfsig brennenden Weingeistlampe in stets gleichmäfsigem Sieden erhalten wird.

Für die Bestimmung des Siedepunctes ist der jedesmalige Barometerstand von grofser Wichtigkeit §. 95., und man ist allgemein darin übereingekommen, dafs dieser nahe genau der mittlere im Niveau des Meeres seyn müsse. Daher nehmen die Engländer 29. Z. engl., die Franzosen 0,76 Met. und die Deutschen 28 par. Z. als normal hierfür an. Obgleich diese drei Gröfsen nicht absolut gleich sind, so giebt es doch für alle natürliche Grade der Wärme keinen wahrnehmbaren Unterschied, wenn die Bestimmung des Siedepunctes bei dem einen oder dem anderen dieser Barometerstände erhalten ist. Nehmen wir aber 28 Z. als normal für Deutschland an, welches um so mehr zulässig seyn kann, als bei weitem die überwiegende Mehrzahl aller Beobachtungen in einiger Erhebung über dem Meeresspiegel angestellt wird, wo das Barometer also nicht den eigentlichen, auf die Meeresfläche bezogenen, mittleren Stand erreicht, so läfst sich aus der Elasticität des Wasserdampfes leicht in genäherten Werthen finden, auf welchen Grad der Thermometerskale der Siedepunct bei anderen Barometerhöhen fallen wird, insofern man für so geringe Temperatur-Unterschiede die Elasticität des Dampfes der Temperatur direct proportional setzen kann. Folgende Tabelle zeigt dieses von 29 par. Zollen bis 26 Z. von 6 zu 6 Lin. für die hunderttheil. Skale.

Bar.	29,0 Z.	28,5 Z.	28 Z.	27,5 Z.	27 Z.	26,5 Z.	26 Z.
Therm.	100,816;	100,408;	100;	99,592;	99,183;	98,775;	98,366.

Es ist am besten diesen Fehler sogleich in der Skale zu corrigiren, weil man sonst jede einzelne Beobachtung danach berichtigen müfste. Wäre z. B. der Siedepunct eines Thermometers bei 27 Z. Barometerstand bestimmt, so müfste

man an die gefundene Stelle noch 0,00817 des ganzen Zwischenraumes zwischen beiden festen Puncten hinzusetzen, und dort den Siedepunct annehmen. Ist aber diese Unrichtigkeit in der Skale nicht corrigirt, oder fände man z. B. bei der Prüfung eines Thermometers dafs es bei 27 Z. oder 29 Z. Barometerstand die Bestimmung des Siedepunctes erhalten hätte, so würde dasselbe bei 28 Z. Barometerstand in siedendem Wasser statt 100° im ersteren Falle 100,816, im zweiten aber nur 99,183 Grade zeigen, und die Correction mufs daher in jenem Falle subtractiv, in diesem additiv seyn. Zeigt also ein Thermometer bei der Prüfung des Siedepunctes 100 + x Grade oder 100 — x Grade, so ist in jenem Falle jeder corrigirte Grad $t' = t\left(1 - \frac{x}{100}\right)$, in diesem dagegen $t' = t\left(1 + \frac{x}{100}\right)$ wenn t die beobachteten Grade bezeichnet Zeigte also, um ein Beispiel vom lezteren Falle anzuführen, welcher der gewöhnlichere ist, ein Thermometer bei der Prüfung im siedenden Wasser bei 28 Z. Bar. nur 99,2 Grade, oder wäre sein Siedepunct bei einem Barometerstande nicht weit über 27 Z. bestimmt, so wäre $100 - x = 99{,}2$ und hiernach $x = 0{,}8$, und es wäre demnach für eine Beobachtung $= 50^{\circ} = t$ die corrigirte Temperatur $t' = t\left(1 + \frac{0{,}8}{100}\right) = t \,.\, 1{,}008 = 50 \times 1{,}008$ $= 50{,}4$ Grade.

Die gewöhnlichen Thermometer reichen nur bis zum Siedepuncte des Wassers und meistens bis 30 oder 36 Grade unter den Eispunct. Da das Quecksilber in gröfseren Kältegraden gefriert, so würde es um so unnützer seyn, die Skale noch weiter herabwärts zu verlängern, als es ohnehin so schwer ist, hinlänglich genau calibrirte Röhren von der erforderlichen Länge zu erhalten. Manche Thermometer, mit denen man gern geringe Temperaturveränderungen durch eine grofse Verlängerung der Quecksilbersäule mit vorzüglicher Schärfe messen will, z. B. diejenigen, welche als Psychrometer dienen sollen, §. 96, umfassen in der Regel nur 30 oder 40 Grade C. über dem Thaupuncte, und meistens etwa halb so viel unter demselben, müssen dann aber oben in der Röhre eine Erweiterung haben, um das Quecksilber aufzunehmen, wenn es sich bei gröfserer Wärme stärker ausdehnt, weil es sonst die Kugel zersprengen würde. Das Quecksilber siedet indefs erst bei so hoher Temperatur, dafs

man dasselbe füglich zum Messen höherer Wärmegrade benutzen kann. Man hat daher Quecksilberthermometer, welche bis 250 ja 350 Grade C., also bis nahe an den Siedepunct des Quecksilbers reichen. Die Künstler können nicht wohl anders, als die ganze Skale in gleiche Theile theilen, dann müssen aber die höheren Grade eine Correction erhalten, welche §. 85 angegeben ist. Weingeistthermometer können in denjenigen Graden, welche dem Siedepuncte des Wassers nahe liegen, nicht mehr richtig seyn, und sollten daher nur bis etwa 70° C. reichen; weil sie aber hauptsächlich zum Messen der höchsten Grade natürlicher und künstlicher Kälte dienen sollen, so mufs ihre Skale mindestens bis 50 oder 60 Grade unter den Thaupunct herabgehen, sie erfordern aber hierfür gleichfalls eine Correction, §. 85.

Man hat einige sehr brauchbare, ihren höchsten und tiefsten Stand selbst zeigende Thermometer, unter denen folgende die vorzüglichsten sind.

1) Rutherfords *Thermometrograph.* Dieser besteht Fig. 85] aus zwei, auf einer messingenen Platte vereinten, horizontal liegenden Thermometern, deren eins ab mit Weingeist, das andere a'b' mit Quecksilber gefüllt ist, beide sind als genaue Thermometer verfertigt. Das Weingeistthermometer hat bei c ein im Weingeiste eingeschlossenes, in der Röhre bewegliches kleines Röhrchen von Glas mit einem dunklen Knöpfchen, welches zwar durch sein gröfseres Gewicht bis an das Ende der Weingeistsäule gleitet, vermöge der Adhäsion aber dieselbe nicht verläfst, folglich bei ihrer Verkürzung durch Kälte mit zurückgezogen wird, bei ihrer Verlängerung aber durch sein Gewicht liegen bleibt, und somit durch den Ort des Knöpfchens den tiefsten Stand des Thermometers während der Abwesenheit des Beobachters zeigt. Das andere, mit Quecksilber gefüllte, Thermometer hat vor der Säule dieser Flüssigkeit ein in der Röhre gleichfalls verschiebbares Stäbchen von Fischbein, welches durch das Quecksilber fortgestofsen wird, und also auf dem höchsten Puncte der Skale liegen bleibt, welchen dieses Thermometer erreichte. Beide Thermometer zeigen also zusammen das während der Abwesenheit des Beobachters stattgefundene Maximum und Minimum der Temperatur, der ganze Apparat ist sehr geeignet für meteorologische Beobachtungen, wobei die nothwendige Gröfse der Kugeln kein Hindernifs macht. Greiner jun. in Berlin verfertigt die Skale aus einer in Messing gefafsten Glastafel, worauf die, beiden Thermometern zugehörigen, Grade mit Dia-

mant geschnitten sind, befestigt sie an dem krummgebogenen Halter abg, welcher an die äufsere Seite eines Fensterrahmens geschroben werden kann, um durch die Glasscheibe zu beobachten, und aufserdem ist die ganze Skale vermittelst eines über g befindlichen Scharniers beweglich, so dafs die Thermometer in die verticale Lage kommen, damit das Stiftchen auf die Quecksilbersäule herabsinkt, das Glasstängelchen aber zugleich bis ans Ende der Weingeistsäule herabgleitet.

2) Das ungleich länger bekannte *Sixthermometer*, durch Fig. 86] Six erfunden [1]), besteht aus einem Weingeistthermometer mit einem grofsen und langen Cylinder $\alpha\alpha$, und einer weiten Röhre, welche zweimal um den Cylinder gebogen und am Ende in eine kleine Kugel β zur Aufnahme von etwas Luft und Weingeist erweitert ist. Der in der Röhre befindliche Weingeist ist durch einen Quecksilbercylinder aa unterbrochen, welcher durch den Weingeist vorwärts und rückwärts bewegt wird, so wie jener sich ausdehnt, und vor sich her zwei kleine Stahlstiftchen ab; ab treibt, welche im Weingeiste liegen bleiben. Der eine derselben zeigt diesemnach den höchsten, der andere den tiefsten Stand des Thermometers, indem beide durch die Enden des Quecksilbercylinders angedeutet werden. Insbesondere bedienen sich die Seefahrer dieses Apparates, um die Temperatur in der Tiefe des Meeres zu messen.

3) Mit Uebergehung des minder zweckmäfsigen Vorschlags von Keith verdient noch das von Crighton angegebene selbstregistrirende Thermometer deswegen genannt zu werden, weil es von Metall, und für die praktische Anwendung keineswegs unbrauchbar ist, obgleich es dem Rutherfordschen weit nachsteht. Eine zusammengelöthete Fig. 87] Stange von Zink ab und von Eisen cd ist unten bei m mit einem Stifte und einer Schraube unbeweglich befestigt, und trägt oben den seitwärts gebogenen Arm de. Weil sich dann das Zink durch Wärme ungleich stärker ausdehnt als das Eisen, so biegt sich die Stange hierdurch krumm, und der Hebelarm, an dessen Ende ein um die Rolle des Zeigers geschlungener feiner Draht befestigt ist, drehet den Hauptzeiger nach der einen Seite, eine bei f

---

[1]) Phil. Trans. LXXII. p. 72. Vergl. Le Maistre in Journ. de Phys. XLVII. 150. Rutherford in Trans. of the Edinb. Phil. Soc. 1794. Gilb. Ann. II. 287.

berthermometern an Genauigkeit, Feinheit und Bequemlichkeit bei weitem nicht gleich kommen. Vorschläge zu ihrer Construction sind durch Ellicot, Mortimer, Löser, Musschenbroek, Smeaton, Roy, Nollet u.a. angegeben; die meisten derselben waren bestimmt, die Ausdehnung der Metalle durch Hitze zu messen, wozu sie aber in sehr ungleichem Grade brauchbar sind. Diejenigen Apparate, welche sich nach den Angaben von Musschenbroek oder Noll'et construirt noch jezt in den physikalischen Cabinetten befinden, und aus einer Metallstange bestehen, welche am einen Ende unbeweglich befestigt, am andern mit einer gezahnten Stange versehen ist, um bei ihrer Ausdehnung ein Räderwerk mit Getriebe, und mit vergsöfserter Bewegung einen Zeiger umzudrehen, sind als Meſswerkzeuge ganz unbrauchbar, und können bloſs dazu dienen, die Ausdehnung der Metalle überhaupt zu zeigen. Man hat indeſs schon in früheren Zeiten und auch neuerdings verschiedene Apparate gehabt, bei denen die ungleiche Ausdehnung zweier Metalle zum Messen der Wärme benutzt wurde, z. B. die von Jörgensen, Holzmann, Regnier u. a. angegebenen [1]. Ihre Construction, wie man sie noch jezt in einer eleganten Form von Taschenuhren Fig. 90] zuweilen findet, besteht aus einer Büchse abc, in welcher eine spiralförmig gewundene, aus einer stählernen Uhrfeder und einer in ihren Dimensionen gleichen, auf sie gelötheten messingenen zusammengesetzte, Feder in α befestigt ist. Das freie Ende γ derselben, welches durch Auf- oder Zuwinden der Feder in Folge der ungleichen Ausdehnung beider Metalle bewegt wird, setzt entweder einen im Centro drehbaren Zeiger unmittelbar in Bewegung, oder ein gezahntes Bogenstück, dessen Zähne in ein im Centro drehbares Rad eingreifen, und dieses zusammt dem darauf befestigten Zeiger umdrehen. Im lezteren Falle hat die Feder nur eine oder nicht einmal eine vollständige Windung, weil das gezahnte Bogenstück durch ungleiche Länge seiner Hebelarme den allezeit geringen Raum der Bewegung ansehnlich vergröſsert. Man verfertigt sie in so kleinen Dimensionen, daſs das ganze Thermometer in dem inneren Raume eines nicht groſsen Urschlüssels enthalten ist.

Das feinste und zarteste, zugleich sehr elegant gearbeitete Metalltkermometer ist von Breguet *(Thermometre metallique)*. Es besteht aus höchst zarten Lamellen von Pla-

[1]) Vergl. Scholz Physik, 2te Aufl. p 231.

Fig. 91] tin, Gold und Silber, welche aufeinandergelöthet, und in einen aus vielen schraubenförmigen Windungen bestehenden Cylinder ab geordnet sind. Unten an diesem hängt der Zeiger, und auf einem getheilten Kreise sind die Grade befindlich, welche der Zeiger andeutet, je nachdem der schraubenförmig gewundene Blechstreifen durch die ungleiche Ausdehnung der Metalle entweder mehr verengert oder erweitert wird [1]. Uebrigens sind die von Breguet in Paris selbst verfertigten Thermometer dieser Art im Allgemeinen keineswegs sehr empfindlich, die Zeiger durchlaufen in Folge der Temperaturveränderungen nicht viele der auf dem Kreise gezeichneten Grade, und auf allen Fall kommen sie den oben beschriebenen Mikrocalorimetern nicht einmal nahe; bloſs die Verdichtung und Verdünnung der Luft wirkt sehr schnell und stark auf dieselben.

Zum Messen sehr hoher Grade der Wärme, wenn diese die Glühhitze erreicht, oder über sie hinausgeht, verlangt man eigene Werkzeuge, welche *Pyrometer* genannt werden. Obgleich man sich lange bemühet hat, auch hierfür genaue Meſswerkzeuge zu erhalten, und so nützlich sie sowohl für die Theorie als auch die practische Anwendung seyn würden, so darf man doch dreist behaupten, daſs die Pyrometrie noch sehr mangelhaft ist. Das bekannteste Pyrometer ist von Wedgwood [2], bestehend aus Thonkugeln von Cornwallis, welche in der Hitze schwinden, im Wasser schnell abgekühlt, und dann zwischen zwei convergirenden graduirten Linealen gemessen werden. Der o Punct seiner Skale ist bei 1077 F. und 1° W = 130° F. Dasselbe geht dann bis 240 W = 32277° F = 17915° C. Da die Analysen der Thonkugeln verschiedene Bestandtheile derselben geben, und nach Wedgwood's Aussage diese Thonart nicht mehr rein gefunden wird [3], so hat man die Richtigkeit dieser Messung verdächtig gefunden [4]. Gazeran hat eine Mischung aus 34 Th. Thon und 43 Th. Kiesel vorgeschlagen, welche schwerlich zum Zweck führen würde [5]. Was aber

1) Ann. de Chim. et Phys. V. 312. Vgl. Schweigg. Journ. XXXII. 497.

2) S. Phil. Trans. LXXII. 305. LXXIV. 358.

3) S. Phil. Trans. LXXVI. 390. Vergl. Fischer Tageb. einer Reise cet. Aarau 1816. 107.

4) Berzelius Chemie übers. von Blöde, I. 43.

5) Ann. de chim. XXXVI. 100. Vergl. Voigt Mag. V. 129. Scherers J. II. 50. G. VIII. 233.

befestigte Spiralfeder dagegen zieht ihn wieder zurück, wenn jener Zug nachläſst; der Hauptzeiger α endlich treibt nach beiden Seiten hin zwei durch bloſse Reibung in jeder Lage ruhende Zeiger vor sich her, welche beide durch Gegengewichte balancirt sind, und deren einer also die höchste, der andere die tiefste Temperatur zeigt.

Zum Messen sehr kleiner Wärmegrade dient Leslie's *Differentialthermometer*, welches nach seinem vielfachen Gebrauche auch Hygrometer und Photometer genannt wird [1]). Seinem Wesen nach besteht dieses Werkzeug aus zwei Kugeln von etwa 1 bis 1,5 Z. Durchmesser an einer gemeinschaftlichen engen Röhre, welche in der Mitte durch einen Tropfen einer gefärbten Flüssigkeit (nach Leslie mit Carmin gefärbte Schwefelsäure) gesperrt ist, und sich nach der einen oder der andern Seite bewegt, wenn die Luft der einen Kugel durch Wärme ausgedehnt oder durch Kälte verdichtet wird. Inzwischen ist die Volumensveränderung der Luft zu geringe, noch dazu wenn die in der andern Kugel durch sie comprimirt werden soll, und ich zweifle, daſs sich auf die angegebene Weise Apparate von der erforderlichen Feinheit verfertigen lassen. Ungleich besser ist es daher, um von den verschiedenen Constructionen nur eine zu beschreiben, wenn man in beide Kugeln a und b etwas
Fig. 88] gefärbten Alkohol oder Schwefeläther bringt, den Apparat über Kohlen erwärmt, bis die Dämpfe der Flüssigkeit aus der feinen Spitze c entweichen, und wenn hierdurch das Ganze luftleer gemacht, von der Flüssigkeit aber nur noch ein geringer, zur Bildung einer kurzen Säule von etwa 1 Zoll Länge genügender Rest vorhanden ist, die Spitze bei c zuschmelzt. Man erhält dann einen sehr empfindlichen Apparat, an welchem sich eine die absolute Wärme messende Skale anbringen läſst, wenn man beide Kugeln auf gleiche Temperatur bringt, dann die eine a auf eine gemessene niedrigere, als die andere b, und den Raum, welchen die Flüssigkeit hierbei durchlaufen hat, in die durch den Unterschied der Temperaturen bestimmten Grade theilt. Der Apparat ist so viel empfindlicher, je mehr er luftleer, und je elastischer die Dämpfe der in ihm zurückgebliebenen Flüssigkeit sind.

---

[1]) Leslie experimental Enquiry into the nature and propagation of heat. Lond. 1804. Kurzer Bericht von Versuchen u. Instrumenten u. s. w. von Leslie, mit Anm. von Brandes. Leipz. 1823. 8.

Rumford [1]) construirte zu seinen feinen Versuchen über die Wärme ein empfindliches Meſswerkzeug, ohne jedoch das gleiche, schon früher durch G. G. Schmidt angegebene und gebrauchte zu kennen. Anfangs sollte dasselbe ein empfindliches Luftthermometer seyn, da die Luft sich stärker als irgend eine Flüssigkeit durch Wärme ausdehnt, nachher aber wählte Rumford gleichfalls die Weingeistdämpfe, und nannte den Apparat Thermoskop oder Mikrocalorimeter. Zwei Glaskugeln von 1 bis 1,5 Z.
Fig. 89] Durchmesser, a und b, werden durch die 3 F. lange oder noch längere 1 bis höchstens 1,5 Lin. weite Röhre cd verbunden, mit etwas gefärbten Alkohol gefüllt, durch Sieden von diesem luftleer gemacht, und dann durch Zuschmelzen der feinen Spitze an der einen Kugel a gänzlich verschlossen. Von dem Weingeiste bleibt ohngefähr so viel in dem Apparate zurück, daſs jede der Kugeln damit etwa zum vierten Theile angefüllt ist, und dann bringt man einige Tropfen davon in die Röhre bei α, welche durch ihre Bewegung nach c oder d hin die Temperaturveränderung in den Kugeln b oder a anzeigen. Eine eigentliche Messung der Wärmegrade ist mit diesem Instrumente ganz unmöglich, allein es ist dagegen so empfindlich, daſs man den Temperatur-Unterschied von $\frac{1}{3000}$ eines Grades nach R. daran beobachten kann. Diese Empfindlichkeit steigt mit der Gröſse der Kugeln, der Engigkeit der Röhre, welche daher am besten nur 1 Lin. weit ist, und der Länge der lezteren, unter der Bedingung, daſs man sehr reinen Alkohol oder Aether genommen und das Ganze vollständig von Luft befreiet habe. Für Beobachtungen geringer Wärmeveränderungen kann man sich eines sogenannten Luftthermometers
Fig. 84] bedienen, wenn man in die Kugel ab gleichfalls etwas gefärbten Weingeist bringt, so daſs etwa 0,75 vom Inhalte derselben mit Luft gefüllt bleiben, welche dann sogleich mit Alkoholdampf gesättigt wird. Auch dieser Apparat wird so viel empfindlicher, je gröſser die Kugel im Verhältniſs zum Durchmesser der Röhre ist, er erreicht nie den Grad der Feinheit, als der eben beschriebene, und kann zur eigentlichen Wärmemessung nicht gebraucht werden, läſst sich aber in vielen Fällen mit groſsem Nutzen anwenden.

Metallthermometer hatte man früher verschiedene, bedient sich aber derselben nicht mehr, da sie den Quecksil-

[1]) Mém. de l'Inst. VI. 71.

nach allen denen, welche keinen eigentlichen Wärmestoff annehmen, muſs derselbe unendlich tief liegen, oder es kann eigentlich überall keinen absoluten Nullpunct geben, welche Folgerung Rumford [1]) auch bestimmt ausspricht, und womit Dülong und Petit früher übereinstimmten [2]). Flaugergues [3]) fand im Verhalten der Gasarten Gründe, ihn bei — 209° R. oder 261,2 C. zu setzen, und da die Dämpfe bei 0° C. noch 640° latente Wärme haben, §. 93, so könnte man ihn bei — 640° C. setzen. Der einzige Grund, auf welchen eine richtige Bestimmung gebauet werden kann, ist durch Clement und Desormes [4]) aus dem Verhalten der Gasarten entnommen, und seitdem von La Place und bei weitem den meisten Physikern als genügend anerkannt. Indem nämlich die Ausdehnung der Gase durch Wärme stets gleichmäſsig und eine bloſse Folge der Wärme ist, so muſs das Verhältniſs ihres Volumens zu der Vergröſserung desselben durch Wärme die absolute Menge der lezteren abgeben. Indem aber die Vermehrung des Volumens für 1° C. 0,00375 beträgt, das ganze Volumen derselben bei 0° C. als Einheit angenommen, so muſs der absolute Nullpunct bei $\frac{1}{0,00375}$ = — 266,66... Centesimalgraden liegen. Wir können uns vor der Hand immerhin mit dieser Bestimmung begnügen, obgleich die Art, auf welche die Vermehrung der Wärme einen gröſseren Abstand der Atome bei den Gasarten bewirkt, noch nicht mit völliger Sicherheit erkannt ist.

Nach Dalton dehnen sich alle homogene Flüssigkeiten, als Wasser, Quecksilber u. a. vom Gefrierpuncte, oder dem Puncte der gröſsten Dichtigkeit an im Verhältniſs des Quadrates der Temperaturen aus [5]), wonach die Thermometerskalen zu verbessern wären. Es ist dieses eben so wenig genügend begründet, als der Einwurf, welchen de Lüc aus der Abweichung von der mittleren Temperatur einer Mischung von zwei ungleich erwärmten Mengen Wassers hergenommen hat [6]), indem es unmöglich ist, zwei ungleich

[1]) Phil. Trans. 1804. I. p. 156.
[2]) Ann. de Chim. et de Phys. VII. 225.
[3]) Journ. de Phys. LXXVII. 290.
[4]) Ebend. LXXXIX. p. 343.
[5]) S. a. a. O. I. 16.
[6]) S. Gilbert Ann. XIV. 288.

erwärmte Quantitäten Wasser in einer äufseren Umgebung, deren Temperatur auf keine Weise beiden gleich seyn kann, und welche daher, auch wenn sie das Mittel zwischen beiden hielte, allezeit von einigem Einflusse seyn mufs, so zu mischen, dafs genau das arithmetische Mittel beider Temperaturen herauskommen könnte. Damit ist indefs durchaus kein Beweis gegeben, dafs die Zunahmen der Wärme den Ausdehnungen der zum Messen derselben verwandten Körper direct proportional sind, wie bei den Thermometerskalen angenommen wird. Das einzige Argument, welches sich hierfür vorbringen läfst, ist die Uebereinstimmung der Ausdehnungen, welche die verschiedenen Körper zeigen, unter einander. Inzwischen ist auch diese keineswegs absolut, und allgemein hört sie auf regelmäfsig zu werden, wenn die Substanzen denjenigen Temperaturen nahe kommen, bei denen sie ihren Aggregatzustand ändern, also bei den Flüssigkeiten, wenn sie fest oder in Dampf verwandelt zu werden anfangen [1]. Ueberhaupt aber sind von verschiedenen Gelehrten nicht ungegründete Zweifel gegen die Richtigkeit der Thermometerskalen erhoben, deren Prüfung aber hier zu weit führen würde.

§. 85.

Wenn gleich die Ausdehnung der verschiedenen Körper innerhalb der bezeichneten Grenzen den Incrementen der Wärme nahe proportional ist, so wird dieselbe doch zugleich bei allen Körpern verschieden gefunden, woraus man auf eine Verschiedenheit ihrer constituirenden Elemente und ihres Verhaltens zum Wärmestoffe schliefsen kann. Im Allgemeinen ist die Ausdehnung der Dichtigkeit der Körper umgekehrt proportional, mithin am gröfsten bei den Gasarten und Dämpfen, kleiner bei den tropfbaren Flüssigkeiten und am kleinsten bei den Metallen. Dafs manche Körper, als Holz, Kohle, Thon und andere Erden durch Hitze mehr zusammengezogen als ausgedehnt werden, ist in dem lockeren Gefüge ihrer Aggregattheilchen und den anderweitigen Modificationen gegründet, welche sie

---

[1]) Vergl. Dulong u. Petit in Ann. de Chim. et de Phys. VII. 113. Ure in Phil. Trans. 1818. II.

durch die Wärme erleiden. Uebrigens ist des practischen Nutzens wegen die Gröfse der Ausdehnung der verschiedenen Körper mit grofser Genauigkeit bestimmt.

Um überhaupt die Wärme zu messen mufste man voraussetzen, die Gröfse der Ausdehnung bei den verschiedenen Körpern sey den Vermehrungen der Wärme direct proportional; nach welchem Grundsatze dann die Thermometer construirt wurden. Aus der Vergleichung des Verhaltens der verschiedenen Körper zur Wärme ist man aber durch unzählbare mühsame Versuche zu folgenden Resultaten gelangt, welche zwar nicht absolut gewifs, aber mindestens höchst wahrscheinlich sind.

1) Die verschiedenen Substanzen zeigen zwar eine ungleiche Vergröfserung ihres Volumens bei gleichen Zunahmen der Wärme, allein innerhalb gewisser Grenzen sind bei allen beide Gröfsen einander direct proportional, und da dieses bei den Gasarten für alle Temperaturen der Fall ist, so betrachtet man die Ausdehnung der Luft als einziges genaues Mafs der Wärme, §. 83. Indem man aber schon in Voraus die Intensitäten der Wärme (oder die Menge derselben) zwischen den beiden festen Puncten, dem des schmelzenden Schnees und des siedenden Wassers durch 100 oder 80 oder 180 Theile (Grade) ausgedrückt hatte, so war es für alle verschiedene Körper fraglich, welche Vermehrungen ihres Volumens diesen Thermometergraden correspondiren. Nach vorausgegangenen anderweitigen zahllosen Versuchen haben jezt die durch Dalton[1]) und Gay-Lüssac angestellten allgemein und mit Recht das höchste Ansehen erlangt, und unter diesen sind wieder die lezteren bei weitem die genauesten. Gay-Lüssac bediente sich hierzu Fig. 92] eines blechenen Gefäfses AB mit Wasser gefüllt, welches durch Weingeistlampen erhitzt wurde. In diesem befanden sich die mit einer Kugel versehenen Röhren $\alpha\beta$; $\alpha'\beta'$, in denen trockne oder mit Dämpfen der verschiedenen Flüssigkeiten gesättigte Luft durch einen Tropfen Quecksilber gesperrt war. Die Temperatur des Wassers wurde vermittelst eines sehr genauen, mit seiner Kugel zwischen beiden Mefsröhren befindlichen Thermometers $\gamma\delta$ gemessen, und die zugehörige Ausdehnung der Gase ergab sich aus dem Stande des Quecksilbers in den graduirten Röhren β; β'.

---

[1]) Mem. of the Literary and Phil. Soc. of Manchester. Lond. 1802. T. V. P. II. p. 595. Gilb. Ann. XII. 310.

Das Resultat dieser Versuche war, dafs alle expansibele Flüssigkeiten und alle Dämpfe sich ganz gleichmäfsig, und zwar um 0,00375 ihres Volumens bei 0° C. ausdehnen [1]. Dafs die trocknen Gasarten insgesammt gleichmäfsig und um die aufgefundene Gröfse ausgedehnt werden, stimmt mit den übrigen besseren Versuchen sehr genau überein, und kann immerhin als ausgemachte Wahrheit angenommen werden, dafs aber alle Dämpfe, wie ungleich auch ihre Beschaffenheit und ihr Abstand vom Maximo ihrer Dichtigkeit seyn mag, eine hiermit ganz gleiche Ausdehnung zeigen sollten, streitet gegen die Analogie der bei allen übrigen Substanzen, welche zu einer Classe von Körpern gehören, stattfindenden ungleichen Ausdehnung, z. B. bei den Metallen; auch haben aufser mir selbst [2]) noch andere Physiker, namentlich Flaugergues [3]) und Lutz [4]) hiervon abweichende Resultate erhalten. Wie allgemein daher jener Satz auch angenommen werden mag, so scheint er mir doch immer noch nicht genugsam begründet zu seyn.

Bei den Gasarten, namentlich bei der atmosphärischen Luft, kommt es sehr häufig vor, dafs man das Volumen derselben bei einer gewissen Temperatur auf das bei einer andern zu reduciren wünscht. Insofern aber die Ausdehnung derselben überall gleichmäfsig ist, so verhält sich ein gegebenes Volumen $= V$ bei 0° zum Volumen $= V'$ bei irgend einer Temperatur $= t$ wie $V : V(1 \pm 0{,}00375\,t)$ wenn die Temperatur t in Centesimalgraden gegeben ist, oder wie $V : V(1 \pm 0{,}0046875\,t)$ wenn t achtzigtheil. Grade bezeichnet. Wird also das Volumen der Luft bei 0° C. als Einheit angenommen, so geben diese Formeln unmittelbar das Volumen derselben bei irgend einer andern Temperatur über oder unter dem Thaupuncte des Thermometers. Insofern aber das Volumen der Luft bei irgend einer Temperatur über oder unter 0 kleiner oder gröfser ist, als das bei 0° zur Einheit angenommene, so verhalten sich die Volumina bei t und t′ Graden wie $V(1 + 0{,}00375\,t)$ zu $V(1 + 000375\,t')$. Heifst das eine Volumen V, das andere V′, so ist $V : V' =$ $= (1 + 0{,}00375\,t) : (1 + 0{,}00375\,t')$, woraus für Centesimalgrade

---

1) Biot Traité I. 182. La Place Mec. Cel. IV. XX. ff. u. 270 ff. Gilb. Ann. XXV. 393.

2) S. Physikalische Abh. Giefs. 1816. p. 146.

3) Journ. de Phys. LXXVII. 273. LXXXII. 404. LXXXIII. 209.

4) Vollständ. Beschreib. aller Barometer u. s. w. Nürnb. 1784. p. 416.

$$V' = V\left(1 + (t'-t)\,\frac{0{,}00375}{1+0{,}00375\,t}\right)$$

und für die achtzigtheil. Skale

$$V' = V\left(1 + (t'-t)\,\frac{0{,}0046875}{1+0{,}0046875\,t}\right)$$

2) Die Ausdehnung aller tropfbaren Flüssigkeiten ist nicht gleichmäſsig, sondern sie wächst mit zunehmender Temperatur. Da man dieselbe nach den angegebenen Gründen vermittelst der Vermehrung des Volumens der Luft messen kann, so hat Thomas Young [1]) vorgeschlagen, ihre durch Erfahrung gefundene Ausdehnung allgemein als eine Function der Wärme zu betrachten, und die Zunahme des Volumens $= \Delta V$ durch die Formel

$$\Delta V = at + bt^{\alpha} + ct^{\beta} + dt^{\gamma} + \ldots\ldots$$

auszudrücken. Diese Hauptformel ist von verschiedenen Gelehrten, namentlich Biot [2]), Pauker [3]), Ekstrand [4]), hauptsächlich Hällström [5]) angewandt, und zwar haben alle die Exponenten α; β; γ;.... nach ganzen Zahlen steigen lassen. Ob dieses den Erscheinungen genau angemessen sey, ist nicht erwiesen, und wird durch meine eigenen neuesten Versuche zweifelhaft, inzwischen ist so viel gewiſs, daſs bei vielen Flüssigkeiten und bei allen bis in nicht zu groſse Entfernung vom Siedepuncte des Wassers die Beobachtungen durch diese Formel sehr genau ausgedrückt werden, woraus also folgt, daſs die Ausdehnungs-Curve der tropfbaren Flüssigkeiten eine Parabel höherer Ordnung sey. Es erfordern indeſs wegen zu groſser Abweichungen von einander die einzelnen eine besondere Betrachtung.

A) Die Ausdehnung des Quecksilbers ist wegen seiner Anwendung zum Barometer vorzugsweise häufig untersucht, und alle stimmen darin überein, daſs dieselbe zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers ganz gleichmäſsig sey. Hiernach würde das Quecksilberthermometer innerhalb dieser Grenze das Luftthermometer völlig ersetzen, und somit vor dem Weingeistthermometer einen entschiedenen Vorzug haben. Genauer genommen ist dieser Satz

---

1) Lectures on nat. Phil. II. p. 392.

2) Traité I. p. 212 u. 412.

3) Ueber die Anwendung der Methode d. kleinsten Quadratsummen auf phys. Beob. Mitau 1819. 4.

4) Dissert. acad. de maxima dens. aquae inv. Lund. 1819. 4.

5) Vetenskaps Academ. Handlingar. för är 1823.

unmöglich; denn wenn einmal die Ausdehnung dieser Flüssigkeit eine mit der Temperatur wachsende ist, so kann dieses Wachsen nicht erst über dem Siedepuncte des Wassers anfangen, und die Behauptung besagt demnach nur so viel, dafs innerhalb dieser Grenze die Zunahme unmerkbar ist, womit man sich bis zu künftigen genaueren Untersuchungen begnügen kann. Um von den zahlreichen Bestimmungen seiner Ausdehnung nur die vorzüglichsten zu erwähnen, fanden Lavoisier und La Place [1]) dieselbe $= \frac{1}{5412}$, die Londoner Societät [2]) $= \frac{1}{5424}$, am genauesten Dülong und Petit [3]) $= \frac{1}{5550}$ für 1° C. oder $\frac{1}{4440}$ für 1° R. Leztere Bestimmung wird jezt allgemein gebraucht. Sofern man also die Ausdehnung des Quecksilbers innerhalb der angegebenen Grenze als ganz gleichmäfsig betrachtet, kann jedes gegebene Volumen desselben auf gleiche Weise, als dieses bei der Luft gezeigt ist, berechnet werden, und ist $= V\left(1 + \frac{1}{5550} t\right)$ für t Grade C, wenn das bei 0° C als Einheit angenommen wird. Ueberhaupt aber ist für die Grade t und t′ nach C

$$V' = V\left(1 + (t'-t)\,\frac{0{,}00018018}{1+0{,}00018018\,t}\right)$$

und für die Grade t und t′ nach R.

$$V' = V\left(1 + (t'-t)\,\frac{0{,}000225225}{1+0{,}000225225\,t}\right)$$

Steigt die Wärme des Quecksilbers über die Siedehitze des Wassers, so eilt die Ausdehnung desselben derjenigen voraus, welche die trockne Luft zeigt. Wenn man die durch Dülong und Petit hierfür gefundenen Gröfsen zusammenstellt, und die Differenzen sucht, so erhält man folgende Resultate:

Quecks. Therm.	100	150	200	250	300	360
Luftherm.	100	148,7	197,05	245,05	292,7	350
1ste Differ.	0	1,3	2,95	4,95	7,3	10
2te Diff.		1,65	2,00	2,35	2,70	
3te Diff.			0,35	0,35	0,35	

[1]) Biot Traité I. p. 233.
[2]) Phil. Trans. LXVII. 817.
[3]) Ann. de Chim. et Phys. VII. p. 118.

Die dritten Differenzen sind constant, wobei blofs die lezte Beobachtung eine Ausnahme macht. Wäre diese absolut richtig, so würde folgen, dafs die Zunahme der Ausdehnung in sehr hoher Temperatur wieder abnähme, und da dieses nicht glaublich ist, Beobachtungen bei so grofser Wärme aber höchst schwierig sind, so darf man unbedenklich die dritten Differenzen als constant betrachten, und hiernach eine bequeme Formel zur Reduction des Quecksilberthermometers auf das allein richtige Luftthermometer entwickeln. Wird demnach die Summe von 50 Graden C. als Einheit betrachtet und durch s bezeichnet, da die lezte Differenz = 0,35 nach der Reihe der natürlichen Zahlen summirt werden mufs, deren Summe bekanntlich $= \frac{n(n+1)}{2}$ für n Zahlen ist, berücksichtigt man ferner, dafs die lezte Differenz erst beim dritten Gliede hinzukommt, und wird dann die von den Graden des Quecksilberthermometers für die Reduction auf Grade des Luftthermometers abzuziehende Gröfse durch y bezeichnet, so ist allgemein

$$-y = 1{,}3 + 1{,}95\, s + \frac{s(s-1)}{2}\, 0{,}35.$$

Hieraus wird

$$-y = 1{,}3 + 1{,}475 \cdot s + 0{,}175 \cdot s^2$$

und da die beiden lezten Glieder für s = 1 verschwinden müssen, so ist

$$-y = 1{,}3 + 1{,}475\,(s-1) + 0{,}175\,(s-1)^2$$

welches aufgelöset giebt

$$-y = 1{,}125 \cdot s + 0{,}175 \cdot s^2.$$

Wenn dann t die Thermometergrade der hunderttheiligen Skale, t' aber $= t - 100$ und $t' = \frac{s}{50}$ gesetzt wird, so ist [1])

$$-y = 0{,}0225\, t' + 0{,}00007\, t'^2.$$

und für Grade der achtzigtheil. Skale $= \tau$ wenn $\tau' = \tau - 80$ ist,

$$-y = \tfrac{1}{4}\,\tau'\,(0{,}09 + 0{,}00035\,\tau').$$

Der Bequemlichkeit wegen sind folgende einander zugehörige Grade berechnet.

---

[1]) Diese Formel, welche ich bei den Versuchen über die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten zur Reduction der Thermometergrade benutzte, hat August später gleichfalls aufgefunden. S. Poggendorff Ann. LXXXIX. 119.

Quecks.-therm.	Luft-therm.	Quecks.-therm.	Luft-therm.	Quecks.-therm	Luft-therm.
105	104,886	160	158,398	230	225,992
110	109,786	165	163,242	240	235,478
115	114,647	170	168,082	250	245,050
120	119,522	175	172,919	260	254,608
125	124,395	180	177,752	270	264,152
130	129,262	185	182,582	280	273,682
135	134,127	190	187,408	290	283,198
140	138,988	195	192,231	300	292,700
145	143,711	200	197,050	320	311,662
150	148,700	210	206,778	340	330,568
155	153,551	220	216,342	350	340,000

B. Die Ausdehnung des Wassers ist sehr oft untersucht, und insbesondere hat man sich bemühet, den Punct der gröfsten Dichtigkeit aufzufinden, nachdem es erwiesen war, dafs dieser nicht im Gefrierpuncte liege. Aus den Resultaten von 4 sehr genau miteinander übereinstimmenden Versuchsreihen [1]) habe ich selbst folgende Formel zur Berechnung der Vermehrung des Volumens bei Wasser erhalten, dieses bei 0^0 C. = 1 gesetzt.

$$\Delta V = -0{,}0005947329\, t + 0{,}0000082100029\, t^2 - 0{,}0000000062\,14\, t^3 + 0{,}0000000000289157\, t^4.$$

Hieraus, und aus directen Versuchen ergiebt sich, dafs der Punct der gröfsten Dichtigkeit desselben bei 3,78046 ... Centes. Graden fällt. Dieses stimmt am genauesten mit derjenigen Bestimmung überein, welche Biot aus den Versuchen des de Lüc berechnete, nämlich = $3^0{,}42$, noch mehr was Pauker hieraus erhielt, nämlich $3^0{,}88$. Die Versuche von Charles gaben nach der Berechnung durch Biot $3^0{,}19$. In Frankreich nimmt man in der Regel dasjenige Resultat an, welches Lefèvre-Guineau gefunden hat, nämlich $4^0{,}4$ C., welches am genauesten mit der neuesten Bestimmung durch Hällström [2]) übereinstimmt, dessen viele und höchst genaue Versuche im Mittel $4^0{,}1$ oder nahe genau 4^0C. als den Punct der gröfsten Dichtigkeit angeben. Hiervon weicht jene obere Bestimmung nicht bedeutend ab, und da ich überzeugt bin, dafs sie schwerlich

[1]) Die ganze Abhandlung, worin von dem Verfahren sowohl bei den Versuchen als auch von den gebrauchten Apparaten und der angewandten Rechnungsmethode vollständige Rechenschaft gegeben ist, wird nächstens in den Commentarien der Petersburger Societät der Wissenschatfen erscheinen.

[2]) Gilb. Ann. LXXVII. 129. LXXXV. 543.

genauer gefunden werden kann, so mag also 3°,78 C. als der Wahrheit am nächsten kommend angenommen werden. Uebrigens ist es auch bei den feinsten Apparaten kaum möglich, zwischen 3°,5 und 4° C. irgend eine Veränderung der Dichtigkeit des Wassers wahrzunehmen, aber es verdient noch der Umstand erwähnt zu werden, daſs das Wasser, welches ruhig stehend sich weit unter 0° C. erkalten läſst, über und unter dem Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit gleichmäſsig ausgedehnt wird [1]).

Da die veränderliche Dichtigkeit des Wassers und die Gröſse seines Volumens so oft in Anwendung kommt, namentlich bei der Bestimmung des spec. Gewichtes §. 43., so setze ich hier einen Auszug aus den weitläuftigen Tabellen her, die ich hierfür berechnet habe, und welche für die zwischenliegenden Grade leicht interpolirt werden kann. Die beiden ersten Columnen setzen das Volumen desselben bei 0° C., die beiden lezten bei 3°,78 = 1.

t	Volumen.	Dichtigkeit.	Volumen.	Dichtigkeit.
0	1,000000	1,000000	1,000111	0,999889
5	0,999900	1,000099	1,000011	0,999989
10	1,000167	0,999833	1,000278	0,999722
15	1,000760	0,999240	1,000871	0,999129
20	1,001643	0,998359	1,001754	0,998248
25	1,002786	0,997221	1,002897	0,997111
30	1,004161	0,995856	1,004272	0,995746
35	1,005745	0,994287	1,005856	0,994178
40	1,007520	0,992535	1,007631	0,992426
45	1,009472	0,990617	1,009583	0,990508
50	1,011591	0,988542	1,011702	0,988433
55	1.013872	0,986318	1,013982	0,986210
60	1,016313	0,983950	1,016423	0,983842
65	1,018918	0,981433	1,019028	0,981326
70	1,021694	0,978766	1,021805	0,978660
75	1,024654	0,975938	1,024765	0,975833
80	1,027814	0,972938	1,027925	0,972834
85	1,031194	0,969749	1,031305	0,969645
90	1,034819	0,966352	1,034930	0,966248
95	1,038720	0,962724	1,038831	0,962621
100	1,042928	0,958839	1,043039	0,958737

[1]) Wegen der weitläuftigen Literatur verweise ich auf Gehler's phys. Wörterb. Art. Ausdehnung.

Obgleich die Ausdehnung des künstlich bereiteten Seewassers von geringerer Wichtigkeit ist, so möge hier doch kurz erwähnt werden, dafs die dafür von mir gefundene Formel

$$\Delta V = 0{,}00005769938\, t + 0{,}00000509638\, t^2 - 0{,}0000000018733\, t^3 + 0{,}00000000006178007\, t^4$$

den Punct der gröfsten Dichtigkeit desselben bei — 5°,25 C. nahe genau giebt.

C. Der Alkohol, dessen Ausdehnung ich gemessen habe, war zwar als absoluter durch L. Gmelin bereitet, hatte indefs schon einige Zeit in einer mit einem Glasstöpsel verschlossenen Flasche gestanden, und mogte daher etwas Wasser aufgenommen haben. Sein spec. Gewicht bei 20° C. betrug 0,801, und war also 0,01 gröfser als Meifsner und Richter gefunden haben. Die Formel zur Berechnung der Zunahme seines Volumens ist

$$\Delta V = 0{,}000989666\, t + 0{,}00000303489\, t^2 - 0{,}0000000395924\, t^3 + 0{,}0000000003636458\, t^4$$

Es ist merkwürdig, dafs nach dieser Gleichung der Punct der gröfsten Dichtigkeit dieser Flüssigkeit nicht tiefer als bei — 56°,6 C. liegt, und also sein Gefrierpunct nicht viel tiefer liegen kann, so dafs Hutton also allerdings wohl nahe absoluten Alkohol zum Gefrieren gebracht haben könnte. Auch vom Alkohol verlangt man oft die Dichtigkeiten zu wissen und folgende Tabelle giebt daher einen kurzen Auszug der durch Berechnung nach der Formel erhaltenen Gröfsen.

t	Volum.	Dichtigk.	t	Volum.	Dichtigk.
— 40	0,96873	1,03227	25	1,02616	0,97450
— 20	0,98179	1,01854	30	1,03165	0,96932
— 10	0,99045	1,00964	35	1,03720	0,96413
— 5	0,99513	1,00489	40	1,04284	0,95892
5	1,00502	0,99501	45	1,04856	0,95368
10	1,01016	0,98994	50	1,05439	0,94841
15	1,01541	0,98482	55	1,06035	0,94308
20	1,02075	0,97967	60	1,06646	0,93767

Es ergiebt sich aus dieser Tabelle, dafs die Skalen der Thermometer um so viel unrichtiger werden, je höher der Punct, welcher aufser dem Thaupuncte als normal zur Theilung der Skale bestimmt wird, liegt, und eigentlich sollte mit einem genauen und hinlänglich geprüften Quecksilberthermometer der Punct — 10° und + 10° C. bestimmt, und hiernach die Skale getheilt werden, weil sonst die durch

das Thermometer angegebenen Grade geringer sind, als eine richtige Bezeichnung sie geben würde. Bei einem in gleiche Grade getheilten Weingeistthermometer beträgt die Kälte — 51°,5 C. wenn nur — 50° durch die Skale gezeigt werden. Aus den verschiedenen Untersuchungen über die Ausdehnung des Weingeistes geht ferner hervor, dafs man nahe absoluten, mindestens möglichst reinen, zu Thermometern wählen müsse, weil seine Ausdehnung so viel regelloser wird, je mehr er mit Wasser gemischt ist.

D. Das Gesetz der Ausdehnung durch Wärme bei den übrigen Flüssigkeiten zu kennen ist nicht so wichtig, als bei den eben genannten, indefs ist es nicht überflüssig zu bemerken, dafs dasselbe allgemein recht gut durch die angegebene Formel ausgedrückt wird, und dafs nach derselben nicht alle einen Punct der gröfsten Dichtigkeit zeigen, vielmehr fällt er bei denjenigen weg, bei welchen er auch der Natur der Sache nach nicht stattfinden kann, insofern sie die im tropfbar flüssigen Zustande gezeigte Zusammenziehung mit in den der Erstarrung ohne Unterbrechung übertragen. Wenn man indefs statt des kleinsten Werthes der Gleichung den gröfsten aufsucht, und diesen als den Punct der geringsten Dichtigkeit betrachtet, so giebt dieses Verfahren zwar keineswegs völlige Sicherheit, weil man dabei zu höheren Graden gelangen kann, als bis wohin die Formel reicht, ohngeachtet ich die viergliedrige gewählt habe, allein man erhält dadurch in einigen Fällen interessante Resultate. Aus diesem Grunde theile ich hier blofs die gefundenen Formeln und die Puncte der gröfsten oder geringsten Dichtigkeit mit.

a) Für Schwefeläther vom spec. Gewichte = 0,733 bei 12°,5 C. ist

$$\Delta V = 0{,}0015026847\,t + 0{,}0000022552\,14\,t^2 - 0{,}0000001578308\,t^3 + 0{,}00000000041466\,t^4$$

und der Punct der gröfsten Dichtigkeit bei — 36° C.

b) Für rectificirtes Petroleum vom spec. Gew. = 0,78125 bei 12°,5 C. ist

$$\Delta V = 0{,}0009885588\,t + 0{,}0000021 2046\,t^2 - 0{,}0000000026763 99\,t^3 + 0{,}0000000001950677\,t^4$$

und der Punct der gröfsten Dichtigkeit fällt bei — 71° C. so dafs man hiernach schliefsen mufs, diese Flüssigkeit widerstehe gröfserer Kälte als der Weingeist. Alle Flüssigkeiten aber, welche einen Punct der gröfsten Dichtigkeit haben, müssen aus diesem Grunde mit krystallinischem Gefüge fest werden.

c) Für liquides Ammoniak vom spec. Gew. 0,9465 bei der nämlichen Temperatur ist

$$\Delta V = 0{,}000285586\, t + 0{,}000002600199\, t^2 + 0{,}0000000641 6338\, t^3 - 0{,}000000000104698\, t^4$$

und die Formel giebt keinen Punct der gröſsten Dichtigkeit, welches mit der Beobachtng von Fourcroy und Veauquelin übereinstimmt, daſs die Flüssigkeit unter — 40° C. gallertartig werden soll; dagegen fällt der Punct der geringsten Dichtigkeit schon bei 74° C. vermuthlich weil dann das an Wasser gebundene Gas entwichen seyn, und die regelmäſsige Ausdehnung aufhören würde-

d) Für liquide Salzsäure vom spec. Gew. 1,1978 bei 12°,5 C. gegen Wasser im Puncte der gröſsten Dichtigkeit ist

$$\Delta V = 0{,}000566237\, t - 0{,}0000008294895\, t^2 + 0{,}0000000037084759\, t^3 - 0{,}00000000047 2156\, t^4.$$

Die Formel giebt keinen Punct der gröſsten Dichtigkeit, der der geringsten aber liegt bei 87°,5 C·

e) Salpetersäure von 1,4405 spec. Gew. bei 12°,5 C. gab

$$\Delta V = 0{,}001066 1285\, t - 0{,}000001646108\, t^2 + 0{,}0000000044 89136\, t^3 - 0{,}00000000001982409\, t^4$$

woraus kein Punct der gröſsten Dichtigkeit, wohl aber der geringsten bei 186°,3 C. gefunden wird.

f) Schwefelsäure vom spec. Gew. 1,836 bei 12°,5 C. gab

$$\Delta V = 0{,}0005279835\, t + 0{,}0000028718 0238\, t^2 - 0{,}000000005 1224035\, t^3 + 0{,}00000000002832 4437\, t^4$$

und den Punct der gröſsten Dichtigkeit bei — 39°,2 C.

g) Für Mandelöl ist

$$\Delta V = 0{,}0007445475\, t + 0{,}0000003134379\, t^2 + 0{,}000000002750899\, t^3 - 0{,}0000000000015975079\, t^4$$

und die Gleichung giebt keinen Punct der gröſsten Dichtigkeit, wie denn diese Flüssigkeit auch wirklich bloſs gesteht, ohne eigentlich zu gefrieren. Der Punct der geringsten Dichtigkeit liegt bei 296° C. wo eine Zersetzung derselben anfängt. Beides stimmt mit der Erfahrung auf eine merkwürdig genaue Weise überein.

3) Die Ausdehnung der festen Körper ist geringer als die der flüssigen, und auſserdem findet eine andere Messung derselben statt. Bei den Flüssigkeiten, sowohl den elastischen als auch den tropfbaren, versteht man unter Ausdehnung die Vermehrung des Volumens, also die kubische (nach allen drei Dimensionen) statt daſs bei den festen Körpern nur die lineare, also nach einer Dimension, gemessen, und hieraus die Ausdehnung der Fläche und der Masse berechnet wird. Es ist dann vor allen Dingen fraglich, ob

die Längenausdehnung der festen Körper den Zunahmen der Wärme direct proportional, oder nach einem ähnlichen Gesetze steigend ist, als die Massen-Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten. Im Allgemeinen wird das Erstere als richtig angenommen, und ein Beweis dafür liegt auch in dem Umstande, dafs der Schmelzpunct der meisten festen Körper, namentlich der Metalle, des Glases u. s. w. so hoch liegt, indefs wird es durch die Untersuchungen von Hällström mehr als wahrscheinlich, dafs das Leztere das richtigere sey. Nach genauen Versuchen [1]) soll die Länge des Glases $= y$, wenn sie beim Thaupuncte $= 1$ gesetzt wird, bei t Graden C.

$$y = 1 + 0{,}0000052\ t + 0{,}000000032\ t^2$$

und nach seinen neuesten Messungen [2]).

$$y = 1 + 0{,}00000196\ t + 0{,}000000105\ t^2$$

seyn, welche beide Bestimmungen indefs weiter von einander abweichen, als die nothwendige Fehlergrenze bei solchen Versuchen gestattet. Für die Ausdehnung des Eisens findet Hällström die Formel [3])

$$y = 1 + 0{,}00000994\ t + 0{,}000000024\ t^2\ 0{,}0000000002\ t^3.$$

Hiermit stimmen die Resultate überein, welche Dülong und Petit aus ihren Versuchen erhielten [4]), wonach die Ausdehnung folgender Körper für 1° C., ihr Volumen bei 0° als Einheit betrachtet,

	0° — 100	100 — 200	200 — 300
Glas	0,0000086 13	0,000009839	0,000010857
Eisen	0,000012666	. . . . .	0,000015735
Kupfer	0,000018411	. . . . .	0,000020180
Platin	0,000009474	. . . . .	0,000009839

beträgt. Indefs giebt es nur wenige Untersuchungen über die Ausdehnung der festen Körper in so hohen Temperaturen, und die Versuche dieser Art gehören unter die allerschwierigsten, da es an sich schon nicht leicht ist, so kleine Gröfsen mit hinlänglicher Genauigkeit zu messen. Indem man aber am häufigsten nur die Ausdehnung namentlich der Metalle und des Glases innerhalb der Temperatur zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers zu wissen verlangt, und diese unbedenklich den Temperaturen direct

---

1) Diss. de dilatatione vitri a calorico. Aboae. 178. Gilb. Ann. XXXVI. 60.

2) Gilb. Ann. LXXVII. 158.

3) Kongl. Swenska Vet. Acad. Nya Handl. 1805. p. 253. Gilb. Ann. XXXVI. 52.

4) Ann. de Chim. et de Phys. VII. 138. daraus in Gilb. Ann. LVIII. 251.

proportional setzen kann, so hat man sich vielfach bemühet, diese genau zu erforschen. Die folgende Uebersicht enthält die am meisten zulässigen Bestimmungen hierüber aus der grofsen Zahl der vorhandenen [1].

Substanzen.	Gröfse bei 100° C	Beobachter.
Platin	1,00098390	Dülong u. Petit.
Gold	1,00146606	Lavoisier u. La Place.
Silber	1,00190868	dieselben.
Schmiedeeisen .	1,00113475	Dülong u. Petit.
Gufseisen . . .	1,00110940	Roy.
Stahl, Steierischer	1,00115200	Horner.
Kupfer	1,00171820	Dülong u. Petit.
Messing	1,00176042	Sabine.
Wismuth . . .	1,00139167	Smeaton.
Spiegelmetall . .	1,00193333	derselbe.
Spiefsglanz . . .	1,00108330	derselbe.
Zinn	1,00209400	Horner.
Blei	1,00290200	derselbe.
Zink	1,00296800	derselbe.
Glas im Mittel . .	1,00089694	Lavoisier u. La Place.
—	1,00089815	Eigene Beob. der kubischen Ausdehnung.
Eis	1,02451200	Plac. Heinrich.
Tannenholz . .	1,00035200	Struve.

Bei der Messung des Volumens von Flüssigkeiten, welche in Gefäfse eingeschlossen sind, mufs man auf die Ausdehnung dieser lezteren, die eine kubische ist, Rücksicht nehmen. Hiervon überzeugt man sich durch einen leichten, schon von Musschenbroek [2]) angegebenen Versuch, wenn man ein Thermometer mit einer grofsen Kugel schnell in heifses oder kaltes Wasser taucht, indem alsdann die Hülle früher erwärmt oder erkältet wird, als die eingeschlossene Flüssigkeit, und leztere daher im ersteren Falle sinken, im lezteren steigen macht. Bei den Thermometern ist übrigens vermöge der Bestimmung der festen Puncte und der Theilung der Skale die Ausdehnung des Glases schon mit in dieser begriffen. Wäre diese nicht kleiner als die der Flüssigkeit, so würde das Thermometer überhaupt weder steigen noch fallen. Die lineare Ausdehnung der festen Körper oder die

[1]) Eine ausführliche Zusammenstellung findet man in Gehler's Wörterbuche I. p. 582, wo auch die Literatur zu finden ist.

[2]) Exper. Acad. del Cim. I. 146.

Vermehrung ihrer Länge = x ist allezeit eine kleine Gröfse zum Ganzen, und beträgt für 1° C. nur den hundertsten Theil der in der Tabelle angegebenen Gröfse. Die Länge eines gegebenen Körpers ist dann für t Grade C. $= 1 + tx$, eine gegebene Fläche aber wird $= (1 + tx)^2 = 1 + 2tx + t^2x^2$, das Volumen aber wird $= (1 + tx)^3 = 1 + 3tx + 3t^2x^2 + t^3x^3$. Weil aber x allezeit eine geringe Gröfse gegen die Einheit ist, und nach der vorstehenden Tabelle (mit Ausnahme des Eises) für 1° C. allezeit mindestens 4 Decimalnullen hat, so erhält das Quadrat 8 und der Cubus 12 Nullen; beide können also vernachlässigt werden [1]), und man erhält mit genügender Schärfe für $(1 + tx)^2 = 1 + 2tx$ und für $(1 + tx)^3 = 1 + 3tx$.

Mitscherlich [2]) machte die merkwürdige Entdeckung, dafs manche Körper sich nach ihren verschiedenen Dimensionen ungleich ausdehnen. Es liegt in der Natur der Sache, dafs dieses nur bei Krystallen stattfinden kann, und führt zu der Ueberzeugung, dafs diese als ein System der durch Anziehung verbundenen Körperelemente zu betrachten sind. Die Erscheinung zeigt sich bei den nicht zum regulären Systeme gehörigen Krystallen, und mufs dann eine Aenderung der Winkel zur Folge haben. Die Krystalle des zwei- und zweigliedrigen Systems dehnen sich nach allen drei Axen verschieden aus, wie Fresnel [3]) beim Gypse gefunden hat, bei den Krystallen des 3 und 3gliedrigen und des 6gliedrigen Systems ist die Ausdehnung nach den 3 Nebenaxen gleich, aber von der nach der Hauptaxe verschieden. Am auffallendsten ist die Erscheinung beim Kalkspathrhomboeder, dessen stumpfe Winkel durch eine Temperaturerhöhung von 100° C. um 8,5 Min. abnehmen, während die spitzen um ebensoviel zunehmen [4]).

§. 86.

Wärme wird entweder ursprünglich erzeugt, oder wahrscheinlicher blofs frei gemacht und in Thätigkeit

---

[1]) S. Soldner in Gilb. Ann. XXV. p. 414. Eine sinnreiche Methode, aus der Vergleichung der bekannten Ausdehnung zweier Stangen die Ausdehnung des Ganzen und die Temperatur zu bestimmen, welche de Borda angegeben hat, findet sich in Biot Traité. I. p. 163. Ihre Mittheilung würde hier zu viel Raum erfordern.

[2]) Ann. Chim. et Phys. XXVI. 222. Vergl. XXV. 108.

[3]) Büll. de la Soc. Phil. 1824. p. 100.

[4]) Gilb. Ann. LXXVII. p. 125. LXXVIII. 109.

gesetzt 1) durch das Licht und vorzüglich die directen Strahlen der Sonne, welche Ursache durch die eigenthümliche Beschaffenheit der Körper sehr modificirt wird; 2) durch mechanische Zusammendrückung; 3) durch chemische Verbindungen, wobei die Intensität der Wärme der Stärke der chemischen Action proportional ist; 4) durch vegetabilische und thierische Organisation. Es darf nicht übersehen werden, dafs wir hierbei blofs den Ueberschufs der nicht sogleich wieder gebundenen oder abgeleiteten Wärme zu messen vermögen, und zugleich auf die noch nicht hinlänglich bekannte Ableitung derselben Rücksicht nehmen müssen.

Nicht blofs die directen Sonnenstrahlen, sondern selbst das Tageslicht bringen Wärme hervor, welche der Intensität des Lichtes im geraden Verhältnisse proportional ist. Vereinigt man die auf eine Fläche von gegebener Gröfse fallenden Lichtstrahlen auf eine kleinere Fläche, so ist die Gröfse der erzeugten Wärme den Flächen umgekehrt proportional [1]. Ist daher bei Brennspiegeln und Brennlinsen ihre halbe Chorde $= R$, der Radius des Brennraumes $= r$, die Intensität des aufgefangenen Sonnenlichtes $= i$, so ist die Brennkraft $I = \frac{iR^2}{r^2} - k$, wenn k den Verlust des Lichtes bezeichnet, welches von den Linsen oder Spiegeln und der Luft beim Durchgange verschluckt wird. Die absolute Menge Wärme, welche eine Brennlinse oder ein Brennspiegel liefern, ist daher allezeit geringer, als diejenige, welche eine gleich grofse Fläche auffangen würde, weil weder das Glas alles Licht durchläfst, noch ein Spiegel alles reflectirt; die Wirkungen sind nur deswegen so auffallend, weil die sämmtlichen Strahlen auf einen so kleinen Punct concentrirt werden. Die Wärme-erzeugende Kraft der Sonnenstrahlen in den verschiedenen Körpern wird so viel mehr geschwächt, jemehr Lichtstrahlen durchgelassen oder reflectirt werden, und ist daher der Menge des im Körper verschwindenden Lichtes direct proportional. Alle dunkle Körper werden daher heifser in den Strahlen der Sonne,

[1]) Rumford in Gilb. Ann. XX. 177.

als helle, wie schon Franklin[1]) zeigte, indem er verschieden dunkele Stücke Tuch auf Schnee in die Sonnenstrahlen legte, und das weiſse gar nicht, die übrigen im Verhältniſs ihrer dunkelern Farbe tiefer eingeschmolzen fand. In der äquatorischen Zone werden daher schwarz gefärbte Eier im heiſsen Sande nach Gregory[2]) gesotten. Kein Thermometer kann aus dieser Ursache in den Sonnenstrahlen die richtige Temperatur der Luft angeben, und wird so viel höher steigen, je dunkler seine Kugel und je gröſser der Einfluſs der Skale ist[3]). Durch die Eigenschaft des Lichtes, in dunkelen Körpern mehr Wärme zu erzeugen, als in hellen, wird Leslie's Differentialthermometer §. 83. zum Photometer, indem man die eine Kugel desselben von schwarzem Glase macht oder mit Tusche schwarz färbt. Interessant ist die durch Flaugergues[4]) bei der groſsen Sonnenfinsterniſs 1820 gemachte Beobachtung, daſs die Sonnenstrahlen auf gleiche Weise erwärmend wirken, sie mögen vom Rande oder aus der Mitte kommen.

Die Sonnenstrahlen wirken so viel stärker erwärmend, je gerader sie auffallen, und zwar findet man ihre Wirkung dem Quadrate des Sinus der Sonnenhöhe proportional, welches man daraus erklärt, daſs der Stoſs derselben und zugleich die Kleinheit der auffangenden Fläche, jede für sich, diesem Sinus direct proportional sind, weswegen beide vereint das Quadrat desselben geben. Es muſste daher falsch seyn, wenn Daniell gefunden haben wollte, daſs ihre Wirkung unter dem Aequator geringer sey, als in höheren Breiten, wie Gay-Lyssac[5]) gezeigt hat. Auf gleiche Weise wirken sie so viel stärker, je weniger sie durch die Luft aufgefangen und zurückgehalten werden, folglich stärker an heiteren Tagen als an trüben, auf hohen Bergen als in der Tiefe. Daſs das bloſse Tagslicht erwärmt, läſst sich zeigen, wenn man die eine Kugel eines Mikrocalorimeters §. 83. im Dunkeln hält, die andere dem Lichte aussetzt, die

---

[1]) Letters on phil. Subj. 56. Vergl. Pictet Vers. über d. Feuer Cap. 3

[2]) Haushaltung der Natur p. 74.

[3]) Eine groſse Reihe von Versuchen über die Erwärmung der verschiedenen Körper in den Sonnenstrahlen hat W. Böckmann angestellt und zugleich die Resultate früherer Beobachtungen mitgetheilt. S. Versuche über die Erwärmung vers. Körper durch die Sonnenstrahlen. Carls. 1811. 8. Es hängt dabei sehr viel von Nebenbedingungen ab.

[4]) Journ. de Phys. XCII. p. 435.

[5]) Ann. Chim. et Phys. XXVI. 375.

Strahlen des Mondes aber, welche nach Bouguer 300000-mal schwächer als das Licht der Mittagssonne sind, hat man nicht erwärmend gefunden, jedoch behauptet Howard [1]), dafs ihm dieses durch Concentrirung derselben auf ein feines Mikrocalorimeter gelungen sey; welches zwar möglich ist, indefs kann eine so geringe Wirkung auch leicht von andern Ursachen erzeugt werden [2]).

Jedes schnelle Zusammendrücken der Körper, Schleifen, Reiben, Biegen eines Drahtes u. a. erhöhet die Temperatur, oft bis zum Glühen. Daher die Methode der Araber, Caffern, einiger indischen Völker u. a. durch Reiben zweier Hölzer Feuer zu machen [3]). Die Methode besteht darin, dafs in ein weicheres Stück Holz eine Furche geschnitten, und mit einem härteren, unten zugespitzten so lange hin und her gerieben wird, bis die abgeriebenen Spähne sich verkohlen und entzünden; oder es wird in ein weicheres eine Vertiefung geschnitten, ein härteres zugespitztes hineingesetzt, und so schnell um seine Axe gedrehet, bis sich ein gleicher Erfolg zeigt. Hölzer auf der Drehbank gerieben geben zwar Rauch, aber sie kommen nicht zur wirklichen Entzündung, weil die sich verkolhenden Stücke stets abgerieben werden. Zieht ein harpunirter Wallfisch das Seil der Harpune schnell über den Rand des Bootes nach sich, so mufs die Stelle stets mit Wasser befeuchtet werden, weil sonst das ganze Boot in Rauch gehüllt wird. Am auffallendsten zeigt sich die Erhitzung durch Reiben beim Schleifen des Eisens und Stahls und beim Feuerschlagen, indem die abgerissenen kleinen Partikeln sich durch die Hitze entzünden, und im Sauerstoffgas der Atmosphäre verbrennen, wodurch das Feuersprühen erzeugt wird [4]). Wenn man Quarzstücke an einander schlägt, so giebt dieses leuchtende Funken, und die abgeschlagenen Partikelchen auf weifsem Papiere aufgefangen sind schwarz. Man wollte dieses aus einer Verbrennung der in der Luft enthaltenen Substanzen ableiten, allein die Erscheinung zeigt sich auch unter Wasser [5]). Davy erzählt Versuche [6]) wonach die schärfsten Feuersteine, welche feine Stahlstücke abschlagen,

[1]) Sillimann Amer. Journ. of Sc. II. 327.

[2]) Ueber die sonstigen Verhältnisse zwischen Licht und Wärme s. §. 148.

[3]) S. Kotzebue's Reise. II. p. 78. III. p. 154. Burchel's Reise T. II.

[4]) S. Haldane in Journ. de Phys. LXV. p. 213.

[5]) Scholz Phys. 2te Aufl. p. 278.

[6]) Biblioth. Brit. XXII. 335.

im luftleeren Raume den hellsten Schein geben, Schwefelkiesstücke dagegen gar keinen. Die Einwohner auf Unalashka sollen Feuer anzünden, indem sie die Funken von zwei aneinander geschlagenen Quarzstücken, die vorher mit Schwefel bestrichen sind, in trockenem Grase auffangen [1]. Nettelbeck [2]) erzählt, dafs man Feuer anmachen könne, wenn man einen eisernen Nagel auf einen Ambos lege, und mit einem Hammer heftig auf die Spitze schlage, dann diese sogleich mit Schwefel in Berührung bringe, welcher sich daran entzünde. Dafs die im Vacuo beim Feuerschlagen abgerissenen Stahlstücke nicht leuchten erklärt sich aus der Abwesenheit des zum Verbrennen erforderlichen Sauerstoffgas; dafs sie aber das Schiefspulver nicht entzünden ist Folge ihrer Abkühlung wegen der Kleinheit ihrer Masse.

Wärme wird ferner hervorgebracht durch Compression der Luft und Gasarten [3]. Am stärksten ist die Wirkung des *Tachopyrion*, welches von einem Arbeiter zu Etienne en Forez erfunden [4], von Mollet zuerst bekannt gemacht wurde [5]. Anfangs bediente man sich zu diesen Versuchen der zu den Windbüchsen gehörigen grofsen Compressionspumpen, bald aber verfertigte Dumoutiez sie in sehr kleinem Maafsstabe, etwa 3 bis 4 Z. lang und 2,5 bis 3 Lin. weit von Messing [6], und es ergiebt sich hieraus, dafs eine 10- bis 12fache Verdichtung der Luft schon zum Zünden des Schwammes genügt. Eine wesentliche Verbesserung bestand darin, dafs Bouvier-Des Mortier sie von Glas verfertigte [7], in denen er beim Comprimiren der Luft einen Nebel entdeckte, den er für freien Wärmestoff ausgeben wollte, welcher aber ohne Zweifel eine Folge des verdampften Oeles ist. Derselbe zeigte später [8] dafs die Luft durch Compression auch unter Wasser an Volumen abnimmt,

---

1) S. Billing's Expedit. dans le Nord de la Russiè. par Sawer. p. 159.

2) In seiner Lebensbeschreibung Th. II.

3) S. Dalton mem. of the Soc. of Manch. V. 515. Gilb. Ann. XIV. 101. Gay-Lüssac ebend. XXX. 249. De la Rive und Marcet in Bibl. univ. XXII. 256. Ann. de Chim. et Phys. XXIII. 203.

4) S. Journ. de Phys. LXII. 189.

5) Izarn lithologie asmospher. Par. 1803. Gilb. Ann. XVIII. 410. XXV. 118. XXX. 268.

6) Journ. de Phys. LXII. 189.

7) Journ. de Phys. LXVII. 130.

8) Journ. de Phys. LXVIII.

und Sauerstoffgas-ärmer wird, wodurch indeſs schwerlich seine Hypothese vom Ausscheiden des selbstständigen Wärmestoffes bewiesen werden kann. Es läſst sich in den Tachopyrien oder den pneumatischen Feuerzeugen nicht bloſs Schwamm entzünden, sondern auch Baumwolle verkohlen und Rose'sches Metall schmelzen. Nach den vielen Versuhhen, welche durch Erman [1]), Gilbert [2]), Biot [3]) u. a. angestellt sind, aus welchen lezteren sich ergab, daſs Knallgas durch bloſse Compression entzündet mit einer furchtbaren Kraft explodirt, aus allen aber, daſs nur die Compression der sauerstoffgashaltigen Luftarten die zur Entzündung erforderliche Wärme giebt, muſs man der Erklärung beitreten, daſs die Wärme, welche den Gasen ihre Expansion giebt, durch mechanische gröſsere Näherung der Elementartheile dieser Gase ausgeschieden wird, und die Entzündung bewirkt. Vergl. §. 15.

So wie die Verdichtung der Luft Wärme erzeugt, muſs diese bei der Verdünnung auf gleiche Weise absorbirt werden [4]). Daſs beide Wirkungen einander umgekehrt gleich sind, läſst sich zeigen, wenn man Breguet's Metallthermometer §. 83., welches hierfür ganz vorzüglich geeignet ist, unter eine Campane stellt, und eben so schnell exantlirt, als Luft zuströmen läſst, in welchem Falle dieses gleiche Grade der zunehmenden und abnehmenden Temperatur zeigt. Man müſste durch dieses Verfahren, nämlich durch gleich schnelle Verdünnung der Luft, als ihre Verdichtung im Tachopyrion geschieht, eine dem absoluten Nullpuncte nahe kommende Kälte erzeugen können, allein dieser Versuch ist unmöglich, weil die Wärme einem hierzu geeigneten, sie leicht annehmenden Körper schneller mitgetheilt, als entzogen werden kann. Zudem entbinden sich aus den Flüssigkeiten, welche sonst durch dieses Mittel zum Gefrieren zu bringen seyn müſsten, sogleich Dämpfe, welche den erweiterten Raum ausfüllen, hauptsächlich aber geben die vermehrten Wandungen des vergröſserten Raumes sogleich allseitig Wärme ab. Hieraus wird erklärlich, warum eine langsamere (nur 1 bis 2 Sec. dauernde) Compression so wenige Wärme giebt. Man nimmt übrigens an, daſs schon eine 5fache Compression der

---

1) Gilb. Ann. XVIII. 240.

2) Ebend. XVIII. 407.

3) Ann. de Chimie LIII. 321.

4) Vergl. Poggendorff Ann. X. 268.

Luft eine Entzündung bewirke, wozu im genäherten Werthe 288° C. Wärme erforderlich seyn soll. Wenn gleich diese 5fache Verdichtung, deren Bestimmung mehr auf theoretischen Gründen beruhet §. 97, als aus der Erfahrung entnommen ist, zu dem verlangten Erfolge nicht hinreicht, so ist dieses doch sicher bei einer 10fachen der Fall. Würde demnach eine gegebene Luftmasse von 0° C. eben so schnell in das 10fache Volumen ausgedehnt, so müfsten hierdurch 288° C. Wärme gebunden werden [1]. Expansion der Luft bringt allerdings Kälte hervor, wie man bei der Höllschen Maschine in Schemnitz beobachtet §. 52., bei welcher die ausströmende Luft Wasser zum Gefrieren bringt. Dafs aber die angegebene Berechnung unstatthaft sey, dieses geht schon daraus hervor, dafs danach die Kälte unter den absoluten Nullpunct (— 266, 67) herabsinken müfste. Ueberhaupt kann bei der Expansion nur die vorhandene Wärme in dem vergröfsertenRaume ausgedehnt werden, und aufserdem hängt diese Untersuchung mit der Bestimmung der specifischen und relativen Wärmecapacität der Körper §. 90., mit der Wärme des Raumes u. s. w. zusammen, führt zu weitläuftigen und schwierigen Problemen, und gestattet keine sofortige Entscheidung. Auch comprimirtes Wasser soll Wärme geben nach Dessaignes [2], indefs ist ihre Menge nach den neuesten Versuchen sehr unbedeutend, welches sich daraus erklärt, dafs die Theile der Flüssigkeiten einander nur wenig genähert werden können, und dabei stets ein gleiches Verhältnifs der Abstände von einander beibehalten, welches eben den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit bedingt. §. 15.

Blofse mechanische Adhäsion, oder das Eindringen der Flüssigkeiten in lockere feste Körper erzeugt Temperaturerhöhung, wie Pouillet [3] durch eine Reihe interessanter Versuche gezeigt hat. Eisenfeilicht, Glaspulver, Porcellan und Thon in Pulverform, Kohle, Baumwolle, Wurzeln, Samenkörner, Sägemehl, Mehl, Haare, Wolle u. dgl. mit Wasser, Weingeist, Essigäther und Oel benetzt, zeigten eine Erhöhung der Temperatur. Alaunerde namentlich, mit 0,01 Bittererde, durch Ammoniak aus ihrer Auflösung gefället, gewaschen, getrocknet und geglühet, wird durch

---

1) Navier in Ann. Chim. et Phys. XVIII. 372.
2) J. d. ph. LXXIII. 41.
3) Ann. Chim. et Phys. XX. 141.

Benetzen mit Wasser warm [1]). Pouillet leitet die Erscheinung von der Capillaranziehung ab, allein diese kann blofs die Aufnahme der Flüssigkeiten bewirken aber nicht unmittelbar die Wärmeentbindung, welche vielmehr eine Folge der Verdickung ist. S. u.

Werden Körper gemischt, welche eine starke Anziehung zu einander haben, so wird das Volumen meistens geringer, und Wärme oft bis zur Entzündung frei, z. B. Alkohol, kaustisches Kali, Schwefelsäure u. a. mit Wasser; Löschen des gebrannten Kalkes; Schwefelsäure und Magnesia. Die beiden lezteren Processe sind dem Wesen nach einander gleich, und es läfst sich daher die beim Löschen des Kalkes entbundene Wärmemenge leicht erklären, wenn man wahrnimmt, dafs frisch geglühete Magnesia mit Schwefelsäure benetzt zum Glühen gebracht wird. Man leitete früher wohl die Hitze des Kalkes von dem Feuer ab, welches er beim Brennen aufgenommen haben sollte, allein der Erklärungsgrund liegt ganz einfach darin, dafs der Kalk beim Brennen aufser der Kohlensäure auch sein Krystallisationswasser verliert, welches nahe 0,25 seines Gewichtes beträgt und dieses dann begierig wieder aufnimmt. Sein Volumen soll dabei nicht verändert werden, welches sicher zu bestimmen von grofser Wichtigkeit wäre, indem dann die erzeugte Wärme blofs Folge der Anziehung und nicht der Verdichtung wäre. Die auffallendste Erscheinung zeigt sich, wenn man gleiche Theile concentrirte rauchende Salpetersäure und Schwefelsäure mischt, und diese in eine gleiche Menge Terpentinspiritus giefst, welche Flüssigkeiten sofort in einer lichten Flamme auflodern. Dahin gehören die Pyrophore [2]) aus gleichen Th. gebrannten Alaun, kohlensäuerlichen Kali und Kienrufs eine halbe Stunde rothglühen lassen [3]). Lemery's und Baume's Versuch mit gleichen Theilen angefeuchteten Schwefel und Eisenfeilicht welche in feuchte Erde gebracht, sich entzünden, und vulcanartige Erscheinungen zeigen. Die Ursache liegt in der mit Wärmeerzeugung verbundenen Verbindung des Eisens mit dem Schwefel; jedoch darf die Menge der Substanzen nicht geringe seyn, sie betrug bei Lemery's Versuche 25 ℔. von jedem Bestandtheile [4]). Aehnliche Erscheinungen sind

[1]) Vergl. Berzelius Jahresbericht 1823. p. 42.

[2]) S. Homberg in Hist. de l'Acad. 1711. p. 234.

[3]) S. Döbereiner Chemie.

[4]) S. Mém. de Paris. 1700.

Körper mit Ausscheidung von Wärme und Licht. Hauptsächlich finden dieselben statt bei der Aufnahme des Chlors und des Sauerstoffgases. Wird blofs das Leztere als das vorzüglichste Mittel der Verbrennung berücksichtigt, so hängt dasselbe ab:

a) von der durch Temperatur bedingten Verwandtschaft der Körper zum Sauerstoff, z. B. die Metalloide, welche bei der Berührung des Wassers verbrennen; das Wasserstoffgas und viel Wasserstoffhaltige Körper; Phosphor, Kohlenstoff- und Wasserstoffhaltige Substanzen, Kohle, Schwefel u. a. bis zu den Metallen, welche als flüchtige mit Flamme, als nicht flüchtige ohne Flamme verbrennen [1]. Einige Metalle, Diamant, Graphit, reine Erden u. a. sind blofs im Focus grofser Brennspiegel oder im Lampengebläse mehr oder minder verbrennlich.

b) Von der Menge des vorhandenen oder beim Verbrennen entwickelten Sauerstoffgas. Daher die Unmöglichkeit des Brennens im Vacuo oder in mephitischen Gasarten; die Verstärkung des Brennens durch Luftzug, durch die verschiedenen Arten des Gebläses bei den Hüttenwerken, durch die kleineren Gebläse, als das Löthrohr [2], den Blasetisch der Glasbläser, Ehrmann's der elektrischen nachgebildete Lampe zum Blasen mit Sauerstoffgas [3] und Lavoisier's weitläuftiger Apparat zu gleichem Zwecke [4]. Verschiedene Substanzen haben den zum Verbrennen erforderlichen Sauerstoff oder das Chlor in sich, als der Salpeter und das chlorsaure Kali §. 75., welche daher mit verbrennlichen Substanzen verbunden und durch Hitze, Reibung u. s. w. entzündet, ein plötzliches Verbrennen mit den durch die grofse Ausdehnung der gebildeten elastischen Flüssigkeiten erzeugten gewaltsamen Explosionen zeigen. Dahin gehört Beaume's schneller Flufs, ein Gemenge aus 3 Th. Salpeter, 1 Th. Schwefel und 1 Th. Sägemehl, welche im wohlgetrockneten Zustande gemengt und in einer Nufsschale ver-

---

[1]) Saussure in Gilb. Ann. XXIX. 127. Lampadius in Gehlen Journ. VII. 716. Berzelius I. 245. Interessante Versuche von Davy in J. de ph. 1817. fev.

[2]) Berzelius von der Anwendung des Löthrohres in der Chemie und Mineralogie übers. von H. Rose. Nürnb. 1821. Vergl. v. Leonhard Handbuch der Oryktognosie 1826. p. 84. wo die ausführliche Literatur mitgetheilt ist.

[3]) Versuche einer Schmelzkunst mit Beihülfe der Feuerluft. Strafsb. 1786.

[4]) Mém. de l'Acad. 1782. p. 457.

brennend eine kleine Silbermünze schmelzen; das bekannte Schiefspulver aus 6 Th. Salpeter, 1 Th. Kohle und 1 Th. Schwefel; das Knallpulver aus 3 Th. Salpeter, 2 Th. Pottasche und 1 Th. Schwefel, welches in einem blechenen Löffel über Kohlen erhitzt mit einem heftigen Knalle und zuweilen erfolgender Durchbohrung des Löffels explodirt. Insbesondere gehören dahin das Bertholletsche Knallsalz, chlorsaures Kali (oder Natron) welches mit leicht verbrennlichen Substanzen gerieben oder geschlagen heftig explodirt; z. B. etwas von diesem Salze mit Schwefel in einem warmen Serpentinmörser gerieben giebt in kaum sichtbarer Menge ein Knistern mit Funken, in gröfserer Quantität gefährliche Explosionen; etwas von dem Salze mit Phosphor auf einem Ambos mit einem schweren Hammer geschlagen knallt furchtbar, und wird wegen des brennend umherfliegenden Phosphors gefährlich [1]). Unschädlich ist, wenn man eine dünne Lage Phosphor auf einen Ambos streicht, etwas von dem chlorsauren Kali darauf schüttet, und mit einem Hammer schlägt, doch mufs man dabei der Gefahr wegen die Augen verschliefsen. Auch 3 Th. braunes Bleioxyd mit 1 Th. Schwefel in einem Mörser heftig gerieben entzündet sich nach Veauquelin [2]), desgleichen entzündet sich jenes Oxyd in schweflichsauren Gas nach Vogel [3]).

c) Von der durch die Menge der Berührungspuncte erleichterten Verbindung mit Sauerstoff. Hierauf beruhen die Dochte von Alströmer und d'Argand [4]), die Pechfackeln, Thilorier's rauchverzehrender Ofen [5]), dünne Scheiben Phosphor, mit Schwefelpulver bestreuet, oder auch für sich auf etwas Baumwolle (als schlechten Leiter gelegt) schmelzen und entzünden sich in einer über 15° C. erwärmten Atmosphäre, ohne dafs dickere Stücke unter gleichen Bedingungen nur bedeutend warm werden [6]). Die Ursache liegt darin, dafs dem Sauerstoffgas der Atmosphäre eine gröfsere Fläche dargeboten und dadurch eine schnellere Verbindung bewirkt wird. Man kann die Entzündung be-

---

1) S. Fourcroy und Vauquelin in Ann. de Chim. XXI. 235.

2) Ann. de Chim. LXII. 221.

3) Kastner Arch. IV. 436.

4) S. Rumford in Mém. d. l'Inst. VIII. 223. Gilb. XLV. 341. XLVI. 225 Fresnel und Arago in Ann. de Chim. et de Phys. 1821 Avril. 1822. Juill.

5) S. Beschreibung und Abbildung von Eschenbach. Leipzig 1801. Gilb. Ann. XI. 241. Vergl. ebend. XXXII. 306.

6) Vergl. van Marum in Ann. de Chim. XXI 158.

schleunigen, wenn man die geschmolzenen Tropfen mit einem Hölzchen auseinanderzieht. Die Ursache, warum Schiefspulver sich im leeren Raume nicht entzündet (eine oft aufgeworfene Frage) liegt darin, dafs die Bestandtheile sich trennen, und dann eine Verbrennung derselben nicht stattfinden kann, welche übrigens, da alle Bedingungen derselben in der Masse selbst vorhanden sind, in allen Gasarten, unter Wasser oder Quecksilber und in ganz verschlossenen Räumen stattfindet. Es läfst sich dieses am leichtesten beo-
Fig. 93] bachten, wenn man in die Spitze α einer krummgebogenen Glasröhre a b einige Grane Schiefspulver bringt, exantlirt, und dann die Spitze in glühende Kohlen hält, in welchem Falle der Schwefel sogleich in der Röhre aufsteigt, der Salpeter schmelzend zu Boden sinkt und die Kohle sich darüber lagert. Das Vacuum mufs indefs mindestens 0,5 Lin. Quecksilberhöhe erreichen, wenn der Versuch gelingen, und nicht gefährlich werden soll [1]. Auch Knallgas, mit zu viel mephitischen Gasarten gemischt, oder zu sehr verdünnt, entzündet sich nicht [2].

d) Von der Temperatur. Diamant, gehörig erhitzt, brennt für sich weiter, einzelne Kohlen erlöschen in einer kalten Kohlenpfanne; Oel für sich brennt nicht in mittlerer Temperatur, wohl aber wenn dasselbe stark erhitzt ist; eine Stahlfeder verbrennt in Sauerstoffgas und Chlorgas nur dann, wenn man die Spitze derselben glühend macht, auch mufs das Chlor erwärmt seyn.

Auf dieses Princip gründete Davy seine *Sicherungslampen*. Wenn man der Flamme einer Kerze einen kalten Körper nähert oder einen kalten Luftstrom dagegen bläst, so wird der Docht so stark abgekühlt, dafs die Flamme erlöscht. Noch instructiver zeigt sich dieses, wenn man sich kleine Wachskerzen verfertigt von 1,5 bis 2 Lin. dick, in denen ein starker Baumwollenfaden den Docht ausmacht, dann eine kleine Glasstange und einen gleich starken Eisendraht oder Kupferdraht an den Enden in einen gleich grofsen Ring von etwa 2 Lin. Durchmesser biegt, so wird die Flamme der Kerze weniger leicht erlöschen, wenn man sie in den gläsernen Ring einschliefst, als in den metallenen, auch wird sie sich über dem ersteren leichter selbst entzünden als über dem lezteren, weil die Ableitung der Wärme bei jenem

---

1) [illegible] Abhandlung über das Schiefspulver. Marb. 1817. 8.

2) Davy in Gilb. Ann. LVI. 150. Grotthufs in Schweigg. Journ. IV. u. Gilb. Ann. LVIII. 345.

grösser ist, als bei diesem, sie kann indess über beiden entzündet werden, und brennt mit einem grösseren Zwischenraume bei dem metallenen Ringe als dem gläsernen dann weiter. Wird der Metalldraht stark erhitzt, so leitet er weniger ab, und die Flamme brennt leichter durch ihn hindurch. So wie die Ringe enger werden, hindern sie das Hindurchgehen der Flamme, und verwandelt man dieselben in ein enges Metallnetz, so kann die Flamme zwar, wenn sie durch dasselbe abgeschnitten wird, auf der andern Seite wieder entzündet werden, aber auf keine Weise selbst die Entzündung durch dasselbe fortpflanzen, weil sie zu sehr dadurch abgekühlt wird. Um daher eine Lichtflamme in ein entzündliches Gas (Kohlenwasserstoffgas, wie es sich hauptsächlich oft in Menge in den Kohlenminen findet) ohne Gefahr, dass dasselbe entzündet werde, zu bringen, darf man sie nur mit einem Drahtnetze umgeben. Die durch Davy angegebenen Sicherungslampen bestehen demnach aus einer ge-
Fig. 94] wöhnlichen Lampe ab, in welcher von unten auf ein gebogener Draht k hinaufgeht, um vermittelst seines andern, gleichfalls umgebogenen, Endes den Docht für die Flamme zu reguliren, und seitwärts die Röhre e zum Nachgiessen des Oeles angebracht ist. Auf die Lampe ist der aus feinem Drahte netzförmig mit kleinen Maschen geflochtene Cylinder geschroben, und mit einem Schlosse befestigt, um nicht abgenommen zu werden, die ganze Lampe aber wird an dem Ringe α vermittelst der stärkeren Drähte cdef getragen. Weil der obere Boden durch die Hitze der Flamme leicht verbrannt werden kann, so hat der Drahtcylinder einen doppelten Boden bei m und n, ausserdem aber ist meistens am unteren Theile ein kleines Glas angebracht, weil das Licht durch die feinen Maschen sehr verdunkelt wird, auch giebt man einigen einen auf dem Dochte befindlichen schraubenförmig gewundenen Platindraht (wie bei den Lampen ohne Flamme), welcher noch eine Zeitlang glühet, und nach dem Erlöschen des Lichtes so viel Helligkeit giebt, als erfordert wird, damit der Arbeiter sich aus der Grube findet. Wenn nämlich das entzündliche Gas die Lampe füllt, so entsteht in dieser eine Explosion, ohne dass die Flamme durch das Drahtgitter dringt, aber die Lampe erlöscht. Man hat Versuche gemacht, und Staub von Schiesspulver auf dieselbe gebeutelt, so dass sie sich in einer Wolke von solchem Staube befand; es sammelte sich almälig eine Lage desselben über dem unteren Boden m, welche sich entzündete, und explodirte, ohne der umschliessenden Wolke

und dem auf dem oberen Deckel n liegenden Schiefspulver die Entzündung mitzutheilen [1]).

Auf die Unmöglichkeit des Verbrennens, wenn die hierzu erforderliche Temperatur nicht vorhanden ist, gründet sich ferner die Feuerlöschung. Das Feuer läfst sich in Schornsteinen ohne Mühe und mit Sicherheit löschen, unter der Voraussetzung, dafs sie hinlänglich stark sind, und beim Brennen des Russes nicht sofort zerplatzen, wenn man unter ihnen eine gehörige Menge gepulverten Schwefels verbrennt, so dafs das schweflichsaure Gas in ihnen aufsteigt, den ganzen Canal füllt, der atmosphärischen Luft das Sauerstoffgas entzieht, und dadurch das Glühen und Brennen des Russes so lange unmöglich macht, bis er genügend abgekühlt ist Uebrigens geschieht die Feuerlöschung durch Wasser, welches mit den brennenden Körpern in Berührung gebracht in Dampf verwandelt wird, und wegen der hierzu erforderlichen grofsen Wärmemenge eine solche Abkühlung erzeugt, dafs das Brennen aufhört. Das Wasser wird entweder aus bloſsen Eimern gegossen, gewöhnlicher von aufsen durch Feuerspritzen in die Flamme gebracht, in den Häusern selbst sind der Bequemlichkeit wegen die kleinen Handspritzen und die Löschbesen sehr zu empfehlen. Leztere bestehen aus Reisbesen an 8 bis 15 F. langen Stangen, welche mit Werg zur Dicke eines Wulstes durchflochten und mit einem groben leinenen Tuche umwunden in Wasser getaucht sehr geeignet sind, an einzelnen Stellen den entstandenen Brand schnell und sicher zu unterdrücken [2]).

Es ist oft behauptet, weniges Wasser vermehre das Feuer, anstatt dasselbe zu unterdrücken, und man beruft sich dabei auf die Erfahrung, namentlich auch auf die, dafs benetzte Steinkohlen besser brennen. Leztere bekannte Thatsache hat darin ihren Grund, dafs die meisten Steinkohlen Schwefel enthalten, und die Wasserdämpfe dazu dienen, dafs die schwefliche Säure leichter gebildet und weggeführt werde, und das Brennen der Kohlen nicht hindere. Im Allgemeinen streitet es gegen die Natur der Sache, dafs Wasser das Brennen befördere, weil es als solches nicht selbst brennen kann, da es in der Zusammensetzung aus seinen beiden Bestandtheilen, dem Wasserstoff und Sauerstoff, vielmehr als ein schon verbrannter Kör-

[1]) Journ. de Phys. 1817. Mars p. 219. Gilb. Ann. LVI. 112. LXIX. p. 335.

[2]) Parrot Entretiens sur la Phys. Dorp. 1820. III. 172.

per betrachten ist, und als neutrale Substanz das Verbrennen anderer Körper nicht erhalten kann. Inzwischen ist die Erfahrung in so fern richtig, als in Fällen, wo eine große Menge Kohlen durch Verzehrung des umgebenden Sauerstoffgases und Erzeugung von Kohlensäure, welche sie einhüllt, die Bedingungen des Brennens erschweren, diese zugleich durch ihre überwiegende Hitze das wenige zugeführte Wasser zersetzen, sich den Sauerstoff aneignen, und das Wasserstoffgas aufsteigen machen, welches hiernach mit Kohlenoxydgas verbunden mit lebhafter Flamme verbrennt, wodurch dann wirklich oder scheinbar das Brennen befördert wird. Auf der andern Seite hat insbesondere v. Marum [1]) gegen Decroizilles [2]) den Satz aufgestellt, und durch Versuche unterstützt, daſs in den meisten Fällen zu viel Wasser verschwendet werde, weniges dagegen, zweckmäſsig angewandt, von gröſserem Nutzen seyn würde. Im Allgemeinen hat hierin Ersterer allerdings Recht, weil meistens namentlich das Holz bei anfangender Löschung noch nicht tief verkohlt ist, und daher nur wenig Wasser bedarf; durchaus glühende Kohlen dagegen bedürfen vieles Wasser, nach meinen Versuchen [3]) etwa 0,2 ihres Volumens, um genügend ausgelöscht zu werden [4]). Andere Flüssigkeiten, als thonhaltiges Wasser, Seifensieder- und sonstige Laugen, Seesalzwasser u. s. w. zum Löschen anzuwenden, wäre zwar in sofern nützlich, als diese Substanzen nicht bloſs löschen, sondern auch die Körper mit einer unverbrennlichen, gegen neue Entzündung schützenden, Rinde umgeben, allein theils sind sie selten in genügender Menge zur Hand, theils verderben sie leicht die Spritzen.

Es giebt ein Verbrennen mit und ohne Flamme. So verbrennt die reine Kohle, das Eisen und einige Metalle ohne Flamme, andere Metalle, z. B. Zink, Wismuth u. s. w. verbrennen mit Flamme, insbesondere aber geben Wasserstoffhaltige Körper eine mehr oder minder helle Flamme. Diese bekannte Thatsache wurde auf eine interessante Weise durch die von H. Davy erfundene Lampe ohne Flamme *(aphlogistic Lamp)* vermehrt [5]). Derselbe entdeckte nämlich, daſs ein dünnes Platinblech oder schraubenförmig zusammenge-

---

1) Gren N. Journ. III. 131. IV. 152.
2) Ann. de Chim. LI. 27. LIV. 104.
3) Gehler's Wörterb. IV. p. 207.
4) Vergl. Parrot theor. Phys. II. 57.
5) Ann. of Phil. LXIV. p. 305.

wundener feiner Platindraht, wenn er in die Flamme des brennenden Weingeistes oder Aethers gehalten wird, nach dem Erlöschen jener Flamme zu glühen fortfährt. Die nicht mit Flamme, wohl aber im Zustande des Glühens leuchtende Lampe besteht demnach aus einer gemeinen Weingeistlampe, auf deren Docht man einen schraubenförmig gewundenen Cylinder von sehr feinem Platindraht, etwa 1,5 Lin. Durchmesser bei einer Höhe von 3 bis 4 Lin. setzt, welcher fortglühet, nachdem die anfangs entzündete Weingeistflamme ausgeblasen ist. Nur wenige andere Metalle und in höherer Temperatur zeigen dieselbe Erscheinung, welche am leichtesten im Aetherdampfe, gewöhnlich im Alkoholdampfe, aber auch im Dampfe einiger ätherischer Oele zum Vorschein kommt. Man kann solche Drahtgewinde auf mehrere neben einander befindliche Dochte setzen, auf diese vereinten abermals Gewinde von stärkerem Drahte setzen, und so durch mehrere Stockwerke eine bedeutende Hitze erzeugen. Die Ursache liegt darin, daſs die aufsteigenden Dämpfe, mit dem noch glühenden Platindrahte in Berührung gebracht, das Sauerstoffgas der Luft aufnehme, sich säuern und daher auch eine durch den Geruch kenntliche Säure, die Lampensäure bilden, vermittelst dieses langsamen Verbrennungsprocesses aber so viel Wärme erzeugen, als hinreicht, den Draht im Glühen zu erhalten.

Eine verwandte, sehr interessante Erscheinung ist durch Döbereiner entdeckt [1]), nämlich daſs der Platinsalmiak §. 78., die schwammige, durch Adhäsion vereinte Substanz, welche der Salmiak aus der Auflösung des Platin's in Königswasser niederschlägt, nach dem Ausglühen und Formen zu einem kleinen Kügelchen das dagegen strömende Wasserstoffgas in einer Umgebung von atmosphärischer Luft oder Sauerstoffgas verdichtet, dadurch erhitzt wird, welche Hitze almälig bis zum Glühen steigt, und dann eine Entzündung des Gases bewirkt. In Knallgas gebracht erfolgt die Entzündung sehr schnell, und erzeugt eine Explosion; ist aber Sauerstoffgas und Wasserstoffgas in beliebigem Verhältnisse durch andere Gasarten verbreitet, so bewirkt die Substanz eine langsamere Vereinigung beider zu Wasser, worauf die Anwendung derselben als eudiometrisches Mittel gegründet ist [2]). Die Ursache dieser ausgezeichneten Wirkungen ist nach einigen eine mechanische, nach andern eine elektri-

[1]) Gilb. Ann. LXXIV. 274.

[2]) Schweigg. Journ. N. F. VIII. 321.

sche, nach noch andern wirken beide vereint. Will man sie blofs mechanisch erklären, so mufs man annehmen, dafs beide Gasarten durch die haarröhrchenartig wirkenden engen Zwischenräume der schwammigen Substanz angezogen und dadurch verdichtet würden, welches eine Erzeugung der Wärme bewirken soll. Diese könnte dann die Verdichtung vermehren, und hierdurch den eingeleiteten Procefs bis zum Glühen des Platinschwammes verstärken, worauf die Entzündung des Knallgases von selbst erfolgen müfste. Sieht man in dem Phänomen die Wirkung der Elektricität, so kommen zwei im weitesten Abstande von einander befindliche Stoffe zusammen, nämlich das elektronegative Platin und der elektropositive Wasserstoff §. 173., welche daher ein um so kräftigeres Volta'sches Element geben müssen, und bei der geringen Wärmecapacität des Platins leicht so viel Wärme erzeugen können, als erfordert wird, um Lezterem die Glühhitze zu geben. Man mufs indefs gestehen, dafs es eine gewagte Hüpothese seyn würde, bei trocknen Körpern eine zu dem fraglichen Erfolge hinreichende Elektricitäts-Erregung anzunehmen. Die erstere Erklärung ist daher wohl ohne Zweifel insofern die richtigere, als sie die hauptsächlich wirkende Ursache angiebt, wenn auch eine gleichzeitige Mitwirkung der Elektricität aus triftigen Gründen anzunehmen ist [1].

Die durch die verschiedenen Processe, namentlich den der Verbrennung, erzeugte Wärme wird mit dem *Calorimeter* gemessen. Einen sehr bekannten Apparat dieser Art haben Lavoisier und La Place viel gebraucht [2]. Dieser besteht aus einem länglichten, aus Draht enge geflochtenen Korbe, (statt dessen man auch ein Gefäfs nehmen kann) mit einem Deckel versehen, in welches die wärmeerzeugenden Körper gebracht werden. Der Korb oder das Gefäfs steht in einem nur etliche Zolle weiteren blechenen Gefäfse mit parallelen Wänden und einer nach unten zum Ablaufe des Wassers eingerichteten Röhre, der Zwischenraum wird mit zerstofsenem Eise angefüllt, wovon eine gewisse Quantität durch die erzeugte Wärme geschmolzen wird, und die Quantität des in einer gegebenen Zeit abfliefsenden Wassers zeigt die Intensität der Wärmequelle, nach dem Grundsatze, dafs zum Schmelzen einer bestimmten Menge Eises so viel Wärme erfordert wird, als eine gleiche

[1]) Vergl. G. G. Schmidt Hand- und Lehrb. d. Phys. p. 353.
[2]) Mém. de l'Acad. 1780.

Quantität Wasser von 0° bis 75° C. zu erwärmen vermag. Um aber den Einfluſs der äuſseren Temperatur, welche aus leicht begreiflichen Gründen nicht unter 0° C. seyn darf, auszuschlieſsen ist das Messungsgefäſs in ein gröſseres eingeschlossen, und der Zwischenraum gleichfalls mit Eis angefüllt. Die Mangelhaftigkeit dieses sinnreich ausgedachten Apparates besteht darin, daſs eine gewisse Menge Eis schmelzen und das daraus entstandene Wasser in den Zwischenräumen zwischen den Eisstücken zurückgehalten werden kann, oder daſs ein Theil von diesem schon früher geschmolzenen und langsam herabflieſsenden erst während des Versuches als Resultat der erzeugten Wärme zum Vorschein kommt Man kann diesen Apparat *Eiscalorimeter* nennen. Dann heiſst *Wassercalorimeter* derjenige Apparat, vermittelst dessen aus der Quantität des bis zu einer gewissen Temperatur erwärmten Wassers die Menge der erzeugten Wärme gemessen wird. Einen solchen hat Rumford[1]) construirt, und viel zur Bestimmung der durch Verbrennungen erzeugten Wärme gebraucht, auch hat sich Despretz desselben bedient, um die latente Wärme der Dämpfe zu messen [2]). Im allgemeinen besteht das Wassercalorimeter aus einem kupfernen Gefäſse mit Wasser, durch welches ein Kühlrohr geleitet ist. Man richtet es dann so ein, daſs die erwärmende Substanz in einem Trichter aufgefangen durch das Kühlrohr strömt und ihre Wärme dem Wasser mittheilt, dessen erhöhete Temperatur dann als Maſs derselben angenommen wird. Zur genauen Berechnung dient die Quantität des Wassers, wozu aber die nach ihrer specifischen Wärmecapicität auf Wasser reducirte Masse des Gefäſses und Kühlrohrs gerechnet werden muſs, auch ist erforderlich zur Corrigirung des Einflusses der umgebenden Luft den Apparat vorher unter die Temperatur der Umgebung zu erkalten, und den Versuch so lange fortzusetzen, bis er um eine gleiche Menge von Graden über dieselbe erwärmt ist, als er im Anfange kälter war, desgleichen die noch aus dem Kühlrohre entweichende Wärme mit in Anschlag zu bringen. Auſserdem hat noch Montgolfier ein Calorimeter angegeben, aus einem in ein Wassergefäſs eingeschlossenen kleinen Ofen mit einem Rauchrohre bestehend, in welchem eine gemessene Quantität Brennmaterial so lange brannte, bis das umgebende Wasser zum Sieden

[1]) Journ. de Ph. LXXVI. 155. Gilb. Ann. XLIV. 12. XLV. 1.

[2]) Ann. Chim. et Phys. XXI. 143.

kam [1]). Hiergegen machte indeſs May die gegründete Einwendung, daſs man die Heitzkraft des Brennmaterials nur dann bestimmen könne, wenn es ganz verzehrt sey, und er construirte daher einen ähnlichen Apparat, vermittelst dessen aber die erzeugte Wärme aus der Menge des verdampften Wassers bestimmt wird [2]).

Der Grad der Hitze, welchen die Körper beim Verbrennen geben, hängt hauptsächlich von der Menge des Sauerstoffes ab, welchen sie verzehren, von der Kürze der Zeit, worin dieses geschieht, und von der gleichzeitigen Entziehung der erzeugten Wärme durch die gebildeten Producte. So kann man die Oberfläche der Haut mit einem Stücke Phosphor reiben, daſs Phosphordampf aufsteigt und im Dunkeln ein Leuchten wahrgenommen wird, ohne erzeugte merkliche Wärme, weil eben jener Dampf zu seiner Expansion eine Menge derselben entzieht; auch ist die Hitze einer mäſsig groſsen Weingeistflamme nicht bedeutend heiſs, weil aus dem Wasserstoff derselben mit dem verzehrten Sauerstoff Wasser erzeugt und als Dampf expandirt wird. Nasses Holz giebt weniger Wärme als trocknes, weil eine groſse Menge zur Verwandlung des Wassers in Dampf verbraucht wird. Ist nicht genug Sauerstoffgas vorhanden, um die verbrennlichen Stoffe damit zu sättigen, oder wird das Zuströmen desselben gehindert, so verflüchtigt sich ein Theil jener Stoffe unzersetzt; daher das Rauchen des Holzes, der Lichter, das Entstehen des Lampenruſses, Kienruſses, Lichtschwalkes u. s. w. In der Regel ist die Hitze eines brennenden Körpers der Stärke des gleichzeitig entwickelten Lichtes proportional, weil lezteres mit dem Grade des Glühens zunimmt. Bloſs das wenig Licht gebende Knallgasgebläse macht hiervon eine Ausnahme, welches kaum sichtbar am Tage die stärkste Hitze giebt, weil überhaupt die Gase nicht mit bedeutendem Lichte glühen, wenn gleich ihre Hitze über die des Glühens hinausgeht, vermuthlich eine Folge ihrer geringen Dichtigkeit. Luft wird daher nicht glühend erscheinen, obgleich sie einen hineingehaltenen Körper zum Glühen bringt. Ueberall wo ein Körper mit Flamme brennt, ist indeſs auch Glühhitze vorhanden, weil die erstere ohne die leztere unmöglich ist, und wenn ein Körper glühet, so muſs er auch einen andern Körper zum

[1]) Journ. des Mines XIX. 67. Gilb. Ann. XXXV. 484.

[2]) S. Hermbstädt Archiv d. Agricult. Chem. III. 231. Dessen Büllet. V. 193.

Glühen bringen können, wenn die ihm mitgetheilte Wärme nicht über eine zu große Masse verbreitet, und dadurch zu sehr abgeleitet wird. Hieraus wird erklärlich, daſs ein feiner Stahldraht in einer Kerzenflamme verbrennt, und ein kleines Glasstängelchen darin schmelzt, ja selbst daſs der ganz feine Platindraht darin verbrennt [1].

Die verbrennlichen Körper verzehren eine ungleiche Menge Sauerstoffgas und geben verschiedene Quantitäten Wärme, wie folgende Tabelle zeigt [2], worin die erste Columne die verbrennliche Substanz, die zweite das verzehrte Sauerstoffgas, die dritte das geschmolzene Eis, und die vierte die Beobachter enthält.

1 ℔.	℔ S.	℔. Eis.	Beobachter.
Wasserstoffgas . .	8	285	Lavoisier.
—	—	320	Dalton.
—	—	315	Despretz.
Holzkohle	2,67	96,5	Lavoisier.
—	—	40,0	Dalton.
—	—	71,0	Rumford.
—	—	93,5	Clement u. Desormes.
Oelerz. Gas . . .	3,4	88,0	
Kohlenwasserstoffgas	4,0	85,0	Dalton.
Kohlenoxydgas . .	0,57	25,0	
Phosphor	1,25	100	Lavoisier.
—	—	60	
Schwefel	1	20	Dalton.
Alkohol	2,4	58	
—	—	90	Rumford.
Schwefeläther . .	2,8	107	
—	—	62	Dalton.
Terpentinöl . . .	—	60	
Steinöl	3,3	97,8	Rumford.
Campher	—	70,0	Dalton.
		148	Lavoisier.
Baumöl	—	104	Dalton.
		120	Rumford.
Talg	—	104	Dalton.
		111	Rumford.

[1]) Vergl. Parrot theor. Phys. II. p. 95.

[2]) S. L. Gmelin Handbuch der Chemie I. p. 149.

1 ℔.	℔. S.	℔. Eis.	Beobachter.
Wachs	.	133	Lavoisier.
		104	Dalton.
		126	Rumford.
Steinkohle	.	61 — 75	Clement u. Desormes
Torf	.	16 — 23	
Holz	.	39 — 46	Rumford.

Die erhitzende Kraft der verschiedenen Holzarten hat Rumford aus der Pfundezahl des Wassers bestimmt, welches durch das Verbrennen von einem Pfunde derselben um 100° C. erhitzt wird, und zwar a wenn es lufttrocken und b wenn es im Darrofen getrocknet war.

	a	b		a	b
Eiche	29,7	—	Ahorn	—	36,1
Ulme	30,3	34,5	Spierling	—	36,1
Hagebuche	31,8	31,0	Tanne	34,0	37,4
Kirschbaum	33,3	36,6	Pappel	34,6	37,2
Esche	33,7	35,4	Linde	34,4	40,6
Buche	33,7	36,3	Birke	34,8	33,2

Einen Grad der Hitze, welchem kein Körper widersteht, brachte man ehemals nur durch die in sehr grofsen Brennspiegeln oder Brennlinsen concentrirten Sonnenstrahlen hervor, jezt vermuthlich noch stärker und auf allen Fall ungleich bequemer durch die künstlichen Gebläse, deren es hauptsächlich zwei Arten giebt. Die eine Art ist das Marcet'sche Gebläse, nach seinem Erfinder benannt [1]. Es besteht aus einer gewöhnlichen Weingeistlampe, in deren Flamme ein Strom Sauerstoffgas geblasen wird; die erzeugte Hitze genügt indefs kaum zum Schmelzen des Platin's. Ungleich stärker ist das Knallgas-Gebläse, welches aus einem verbrennenden Strome Knallgas (2 Th. Wasserstoffgas und 1 Th. Sauerstoffgas dem Volumen nach) besteht, und auf zweierlei Weise construirt wird. Die eine Art giebt das Newmansche (nach dem ersten Verfertiger benannt) oder auch das Clarkesche (wegen der vielen durch Clarke damit angestellten Versuche). Nach den neuesten
Fig. 95.] Verbesserungen besteht dasselbe aus einem starken Kasten von geschlagenem Kupfer a, in welchem das aus der Thierblase C genommene Knallgas vermittelst der Com-

[1]) Ann. of Phil. II. 99.

pressionspumpe b stark comprimirt wird, und nach Oeffnung des Hahns m aus dem Rohre n ausströmt, wo es entzündet wird und die hineingehaltenen Körper schmelzt. Weil die Flamme leicht in das Gefäfs zurücktritt und eine höchst gefährliche Explosion erzeugt, so sucht man diese dadurch zu vermeiden, dafs das Gas erst durch eine Schichte Oel treten mufs und durch ein feines Gewebe von Platindraht, ehe es an der Spitze des Blasrohres entzündet wird. Weil indefs bei allzugrofser Gefahr diese sämmtlichen Mittel keine genügende Gewähr leisten, so hat man zur Sicherheit die bretterne Wand ef angebracht, durch welche der Arbeiter geschützt ist [1]). Die zweite Art ist das Hare'sche [2]) Gebläse mit den beiden getrennten, erst unmittelbar vor dem Verbrennen vereinten Gasarten, dem Sauerstoffgas und Wasserstoffgas, welches durch Hare schon 1813 erfunden, aber wegen der bald nachher bekannt gemachten Marcetschen Lampe und dem Clarkeschen Gebläse weniger beachtet wurde. Unter den verschiedenen vorgeschlagenen Constructionen scheint es mir am besten, zwei Gasometer Fig. 96.] A und B, wie sie bei den elektrischen Zündlampen sind, durch ein von beiden Fassungen α und β ausgehendes gemeinschaftliches Rohr zu vereinigen, und beide Gasarten aus einem einzigen Blasrohre ausströmen zu lassen. Dabei ist vor allen Dingen nicht zu übersehen, dafs das Rohr für jedes einzelne Gasometer durch einen eigenen Hahn abgeschlossen werde, weil sonst beide Gase, wenn sie nicht ausströmen, sich mit einander mischen, insbesondere wenn der hydrostatische Druck auf dieselben durch einen ungleichen Wasserstand in den Gefäfsen C und D ein verschiedener ist. Dieses zu verhüten wird das Blasrohr am besten mit keinem Hahn versehen, und man hat aufserdem den Vortheil, dafs die Körper zuerst in der minder heifsen Wasserstoffgasflamme erhitzt werden können, und man durch almäliges Oeffnen des Hahn's für das Sauerstoffgas die Hitze bis zum höchsten Grade verstärken kann. Weil man zu anhaltenden Versuchen vieles Gas gebraucht, und die gläsernen Gefäfse des beschriebenen Apparates dieses nicht fassen, so ist hierzu das Baadersche Cylindergebläse Fig. 97.] mehr geeignet. Man vereinigt zwei Cylinder A und B,

---

1) Journ. of Sci. and. Art. N. III. p. 104. Ann. Chim. et Phys. III. 158. Schweigg. Journ. XXII. 385. Gilb. Ann. LV. 1. Der eigentliche Erfinder des Knallgasgebläses ist Brook. Ann. of Phil. VII. 367.

2) Phil. Mag. L. 106.

in denen zwei andere Cylinder C und D die beiden Gasarten pneumatisch absperren, so dafs sie durch die Röhren ab und cd mit so viel gröfserer Geschwindigkeit ausströmen, je stärker der Druck der Cylinder C und D auf dieselben ist, und dann aus einem Blasrohre an der, beide verbindenden, gemeinschaftlichen Röhre ausströmend zur Erzeugung der höchst wirksamen Knallgasflamme benutzt werden. Die Oeffnungen α und β dienen dazu, das Gas einzufüllen, welches beim Sauerstoffgas vermittelst einer grofsen Blase, beim Wasserstoffgas unmittelbar aus dem Verbindungsrohre geschehen kann, in welchem Falle dasselbe jedoch durch ein Zwischengefäfs mit Wasser geleitet seyn mufs, um den Uebertritt der Säure oder des Vitrioles in den Cylinder zu verhüten, weil sonst die Löthung des Metalles angefressen wird. Ist ein solcher Apparat grofs, so kann ein starker Gasstrom erhalten werden, wenn das Blasrohr bedeutend weit und am Ende mit einem mehrere sehr feine Löchelchen enthaltenden Bleche verschlossen ist. Nach Versuchen, welche ich mit beiden beschriebenen Apparaten angestellt habe, steht diese Art in ihren Wirkungen dem Clarkeschen Gebläse nicht nach, und ist so viel vorzüglicher, da die Gefahr einer Explosion bei lezterem gar nicht zu vermeiden ist, indem sie namentlich durch die blofse Compression entstehen kann.

Ueber die Ursache der erstaunlichen Hitze, welche dieses Gebläse erzeugt, indem eine Flamme von nicht mehr als 1 bis 1,2 Z. Länge und etwa 0,5 Lin. dick, wenn das Gas aus einer 0,1 Lin. weiten Oeffnung strömt, einen Platindraht von 1 Lin. dick verbrennt, Graphit verflüchtigt, Quarz, Thon und Kalkspath schmelzt u. s. w., ist man nicht ganz einig. Gilbert [1]) findet die Ursache in der starken Compression, wodurch ein vielfaches Volumen Gas in einem gegebenen Raume verbrenne. Allein theils wird die Wirkung der Compression, sofern sie die ausströmende Quantität vermehren soll, durch das Oel und das Platindrahtnetz wieder aufgehoben, theils kann die Dichtigkeit des Gases nach dem Ausströmen nicht gröfser seyn, als dem atmosphärischen Drucke proportional ist, weil die freie Ausbreitung desselben nicht gehindert wird. Scherer [2]) leitet die Wirkung aus der grofsen specifischen Wärmecapacität des Sauerstoffgases ab, welche durch die des Wasserstoff-

[1]) Ann. d. Phys. LV. 40.

[2]) Allgem. Nord. Ann. III. 318.

gases noch vermehrt werden soll. Allein es wird nachher gezeigt werden, dafs nach diesen, blofs für sich betrachtet, vielmehr Kälte entstehen müfste. Allerdings mufs grofse Hitze dadurch frei werden, dafs zwei Gasarten diejenige Wärme hergeben, welche ihnen die Expansion giebt, und aufserdem findet eine aufserordentliche chemische Verwandtschaft zwischen beiden Gasarten statt, so dafs also die Wärme als das Product ihrer Verbindung sehr grofs seyn mufs, womit indefs das Phänomen noch nicht genügend erklärt ist.

Anhangsweise läfst sich hier noch eine Betrachtung über die gewöhnliche Flamme beifügen. Die Flamme, hauptsächlich die leuchtende der Lampen, entsteht durch das Verbrennen des kohlenstoffhaltigen Wasserstoffgases, welches entweder durch die Hitze der Flamme selbst unmittelbar vor der Verbrennung aus den gegebenen Substanzen entbunden, oder vorher durch Zersetzung derselben in starker Hitze dargestellt wird; Ersteres geschieht bei den gewöhnlichen Lampen, Lezteres bei der sogenannten Gasbeleuchtung. Jede dieser Flammen sollte billig weifs, in Folge des Weifsglühens der Körper beim Verbrennen seyn, sie sind dieses aber in ungleichem Grade, verschieden hell und gefärbt. Die Flamme des reinen Wasserstoffgases ist schwach bläulich gefärbt und kaum sichtbar, die des Kohlenwasserstoffgases, welches aus Buchenholz erhalten und mehrfach gereinigt wurde, ist dunkelblau und sehr wenig leuchtend, die weifseste, hellste und leuchtendste ist die des aus Oel bereiteten Gases. Die Flamme einer Kerze, welche dadurch entsteht, dafs die in den haarröhrchenartigen Dochten aufsteigenden Fette durch die Hitze der Flamme in kohlenstoffhaltiges Wasserstoffgas zerlegt werden, welches dann verbrennt, ist unten bläulich, weil ein Theil des Wasserstoffgases sogleich verbrennt. Auswärts ist sie meistens mit einer wenig leuchtenden Hülle umgeben, als Folge des mit Kohlenstoff nicht gesättigten Wasserstoffgases, dann folgt der glänzendste Theil, in welchem der Kohlenstoff, zum Weifsglühen gebracht, verbrennt; im Innersten ist sie dunkel, weil dahin das Sauerstoffgas nicht dringen kann, um den Kohlenstoff zum Glühen zu bringen, und aus gleicher Ursache verbrennt der Docht nicht, wohl aber wenn man die Kerze schief stellt, und ihn dadurch mit der äufseren Luft in Berührung bringt. Eine Bestätigung dieser Sätze geht daraus hervor, wenn man einen Platindraht in die Flamme hält, an welchen sich der Kohlenstoff sogleich anlegt, und

nur dann verzehrt wird, wenn der Draht die Glühhitze erreicht. Ist der Zutritt des Sauerstoffgases nicht genügend, so steigt von der Spitze eine Menge unverbrannten Kohlenstoffs in die Höhe, und setzt sich als Lichtschwalk oder Lampenrufs an kalte Körper an, weswegen das Verbrennen und Leuchten durch erleichterten Zutritt von Sauerstoffgas vermehrt wird. Hierauf sind die Dochte von Alströmer und d'Argand gegründet. Zugleich ist die Flamme so viel leuchtender, je angemessener das Verhältnifs des Kohlenstoffes zum Wasserstoffe ist, so dafs die ganze Menge desselben vollständig verglühen kann, wie hauptsächlich beim Steinkohlengase und noch mehr bei dem aus Oel bereiteten Leuchtgase der Fall ist. Beide werden bereitet, indem man Steinkohlen oder Oel in eisernen Retorten glühet, das entbundene Gas reinigt, in grofsen Gasometern auffängt, und aus diesen durch Röhren an diejenigen Orte leitet, wo es aus feinen Röhrchen strömend entzündet wird. Ihre Güte ist so viel vorzüglicher, je gröfser der Antheil des sogenannten Oel-erzeugenden Gases in ihnen ist, und je mehr ihr spec. Gewicht hierdurch vermehrt wird, wonach es dann möglich wird, dafs die gröfsere Menge des Lichtes, welches die Flamme desselben verbreitet, den Kostenaufwand seiner Bereitung mehr als übertrifft. Eine Annäherung an diese Flamme geben die kleinen, aus einem
Fig. 98] gläsernen Röhrchen bestehenden, und vermittelst kleiner blecherner Schüsselchen auf gereinigtem Oele schwimmenden Gaslichter, bei denen das im Röhrchen aufsteigende Oel, am Ende desselben entzündet, ohne Docht mit sehr heller Flamme brennt [1]).

Die Flammen haben im Allgemeinen ein dunkleres, röthlicheres Licht, wenn die verbrennenden Stoffe weniger glühen, ein weifseres, wenn sie stärker glühen. Künstlich läfst sich hauptsächlich die Weingeistflamme färben, wenn man verschiedene Substanzen darin auflöset. Grünspan, salpetersaures Kupfer, Boraxsäure u. a. Stoffe färben die Weingeistflamme grün, salzsaurer Kalk und Strontian roth, salzsaurer Baryt gelb, Chlorkupfer im Maximum lebhaft roth mit grünem und blauem Rande. Calcinirter Kupfer-

[1]) Ueber die Gasbeleuchtung s. Accum prakt. Abh. üb. d. Gaslicht. Uebers. von Lampadius. Weimar 1816. Andere Uebers. Berlin 1816. Prechtl Anleitung zur zweckmäfsigen Einrichtung der Apparate zur Beleuchtung mit Steinkohlengas Wien 1817. Am vollständigsten und gründlichsten C. W. Tabor Vollständiges Handbuch der Gasbeleuchtungskunst. 2 Bde. Frankf. 1822. 8.

vitriol mit Pech pulverisirt und an einen Docht oder auf Kohlen gebracht färben die Flamme blau.

Aus den oben mitgetheilten Bestimmungen der Menge des verzehrten Sauerstoffgases und der dadurch erzeugten Hitze folgt namentlich nach den Versuchen von Despretz[1]), Davy[2]), Dalton, Lavoisier u. a., dafs die Menge der erzeugten Wärme der Quantität des verzehrten Sauerstoffgases nicht direct proportional ist, wie Welter[3]) gefunden haben will. Obgleich die Erzeugung der Wärme durch Verbrennung hiernach leichter erklärbar seyn würde, so scheinen doch die Thatsachen dagegen zu streiten.

Dafs die Vegetabilien Wärme entwickeln, behauptete Hunter[4]), Schöpf[5]), Hermbstädt in Folge einer grofsen Reihe zu Harpke angestellter Beobachtungen[6]), Salomé[7]), Slevogt[8]) u. a., und dafs einige Pflanzen, insbesondere Arum-Arten, in der Periode ihres Blühens eine bis auf mehrere Grade steigende Wärme auf kurze Zeit entwickeln, ist durch die Beobachtungen von Lamark[9]), Hubert[10]) u. a. genugsam erwiesen. Als die Wärmeentwickelung durch Pflanzen in Folge des Lebensprocesses auf die Autorität von de la Metherie allgemein angenommen wurde, zeigte Nau[11]), dafs die Ursache ihrer Abweichung von der äufseren Temperatur blofs in der schlechten Wärmeleitung und ihrer Verbindung mit dem ungleich warmen Boden zu suchen sey. Dagegen aber suchte F. v. Paula-Schrank[12]) durch eine grofse Menge von Thatsachen darzuthun, dafs die Vegetabilien eine eigene Wärmequelle in sich hätten, wogegen aber Schübler[13]) wiederum die schlechte Wärmeleitung als Ursache dieser Erscheinungen

---

1) Ann. Chim. et Phys. XXVII. 223.
2) Schweigg. J. XX. p. 14.
3) Ann. Chim. et Phys. XIX. 415. XXVII. 223.
4) Phil. Trans. 1778. p. 1.
5) Naturforscher N. 23. p. 1.
6) Magaz. Naturf. Fr. 1. p. 316.
7) Ann. de Chim. XL. 113. Vergl. de la Metherie considerations sur les êtres organisees. II. 296. Journ. de Ph. LXXII. 193.
8) Hermbst. Bullet. III. 46.
9) Encyclop. method. Art. Aron.
10) Bory de St. Vincent Voy. Tom. II. p. 66.
11) Annal. d. Wetter. Ges. I. 27.
12) Münchener Denksch. T. II.
13) Poggendorff Ann. X. 581.

durch genaue Versuche nachgewiesen hat. Es scheint daher ausgemacht, dafs eine eigenthümliche Wärmeproduction der Pflanzen im gewöhnlichen Zustande gar nicht existirt, oder auf allen Fall sehr geringe ist.

In steigender Progression zeigt sich eine eigenthümliche Wärmeproduction bei den Fischen und Würmern [1]), den Amphibien, Insecten, Säugethieren und Vögeln. Braun [2]) fand die Temperatur der Fische allezeit dem Medio, worin sie leben, völlig gleich, John Davy [3]) dagegen allezeit eine Kleinigkeit höher, als die des Wassers, womit v. Humboldt, Provençal [4]) und Perrins [5]) übereinstimmen. Die Insecten, denen Viele die eigene Wärmeproduction absprechen, besitzen dieselbe im Verhältnifs zu ihrer Kleinheit in einem hohen Grade nach Reaumur [6]). Die Wärme der kleineren Säugethiere übertrifft wohl die der gröfseren, jedoch geht sie bei den Schläfern im Winterschlafe selbst bis unter 0° C. herab, im Ganzen ist sie bei allen Säugethieren gleich [7]). Merkwürdig ist die hohe Wärme der Wallfische, ungeachtet des kalten Wassers, worin sie leben, denn Scoresby [8]) unter andern fand bei einem vor anderthalb Stunden getödteten Narwal 35°,2 C. und bei einem gemeinen Wallfische (B. mysticetus) 38°,77 C. Die Wärme der Vögel ist die stärkste unter den warmblütigen Thieren, auch können sie die stärkste Kälte ertragen [9]). Die sich wenig ändernde Wärme der Menschen beträgt nach Wahlenberg [10]) 36°,87 C., nach John Davy [11]) 36°,66 C. Unter der Linie stieg dieselbe nach Lezterem um 1° bis 1°,5 und betrug in 12° S. B. 37°,7 C. Nachdem aber die nämlichen Menschen sich drei Wochen zwischen 30° und 35° S. B. aufgehalten hatten, war ihre Wärme bei

---

1) S. Poli testacea utriusque Siciliae eorumque historia. T. I. P. II. cap. V. u. VI.

2) Nov. Com. Pet. XIII. 419.

3) Gilb. Ann. LXVI. 129.

4) Mem. d'Arc. II. 598.

5) Gilb. Ann. XIX. 418.

6) Hist. nat. des Insectes. ed. 8vo. T. V. P. II. p. 360. Vergl. Hunter in Phil. Trans. LXXXII. 136.

7) Rudolphi Physiol. I. 183.

8) Account of the Arct. Reg. I. 477.

9) Rudolphi a. a. O. p. 181.

10) Gilb. Ann. XLI. 117.

11) Ann. Ch. et Phys. XXII. 435. Gilb. Ann. XLVI. 129.

15° äuſserer Temperatur nur 36°,42. Hieraus geht hervor, daſs die Wärmeproduction steigt, wenn die äuſsere Tempetur sinkt und umgekehrt, so daſs also die Empfindlichkeit gegen Kälte nach anhaltendem warmen Wetter und umgekehrt nicht bloſs der Gewohnheit beizumessen ist. Ohne äuſseren Schutz erliegt die Lebenskraft des Menschen in trockner Luft zwischen 2° bis 6° C., im Wasser oder feuchter Luft zwischen 6 bis 10 Gr. C. innerhalb 12 Stunden, durch Kleider geschützt widersteht er dagegen der gröſsten natürlichen Kälte, selbst bis — 50° C. ohne nachtheiligen Einfluſs auf die Respirationswerkzeuge; der anhaltende Einfluſs derselben erzeugt indeſs Wirkungen, welche dem Berauschtseyn ähnlich sind [1]). Höhere Grade der Hitze, selbst nur einige Grade über die Blutwärme, werden von kleineren Thieren nicht ertragen [2]), aber nach den Versuchen von Fordyce, Banks, Blagden, Dobson und Solander vermag der Mensch einige Minuten eine Wärme über der Siedehitze des Wassers zu ertragen [3]), welches noch mehr durch de la Roche und Berger bestätigt ist, indem sie einer trocknen Hitze von fast 110° C. auf kurze Zeit widerstanden [4]).

Die Ursache der thierischen Wärme liegt nicht in einer Ererbung [5]), noch in einer Reibung des Blutes in den Adern [6]), noch in einer Gährung [7]), noch in der Muscularbewegung [8]), noch auch unmittelbar in der Thätigkeit des Gehirns, wie Brodie aus seinen Versuchen folgern wollte [9]), aber durch Emmert widerlegt wurde [10]), wenn gleich die Respiration eine Folge der Nerventhätigkeit ist [11]). Viel-

[1]) Parry's zweite Reise d. Ueb. p. 245.

[2]) Dunze Diss. compl. varia exper. calorem anim. spect. L. B. 1754.

[3]) Phil. Trans. LXV. 111 u. 484. LXVIII.

[4]) Experiences sur les effets, qu'une forte chaleur produit dans l'économie animale. A Paris 1806.

[5]) Nach Caldani in Mem. di mat. et di fisica XIII. 296.

[6]) Nach Boerhave inst. rei med. und Douglas essay sur la gener. de la chaleur des animaux trad. de l'Angl. Par. 1751.

[7]) Homberg Mem. de Par. 1701.

[8]) Nach de la Metherie aus den Versuchen von de la Roche u. Berard J. d. phys. LXXVI. 296. LXXVII. 5. und nach Bunzen G. XXV. 147.

[9]) S. Phil. tr. 1812. II.

[10]) Hufeland Journ. d. pr. Heilk. 1815. St. 3.

[11]) Blumenbach com. Gott. VIII. Bartels die Respir. als vom Gehirn abhängige Bewegung. Bresl. 1813.

mehr ist dieselbe vom Chemismus des Lebensprocesses, wobei vorzüglich die Verzehrung des Sauerstoffgases und Bildung der Kohlensäure vermittelst der Respiration als hauptsächliches Mittel zu berücksichtigen ist, abzuleiten [1]). Hiernach muſs die Erzeugung der Wärme so viel stärker seyn, je gröſser vermöge des gesteigerten Lebensprocesses die Verzehrung des Sauerstoffgas ist. Es läſst sich hiernach der thierische Lebensproceſs als ein langsamer Verbrennungsproceſs betrachten, jedoch wird das Sauerstoffgas nicht ausschlieſslich in den Lungen, sondern im ganzen Körper zerlegt.

Auf welche Weise die Wärmeerzeugung durch die vier genannten Mittel ganz eigentlich erfolge ist oft untersucht, aber bis jezt nicht genügend beantwortet. Wird zuvörderst die Erregung der Wärme durch die Sonnenstrahlen als ein Proceſs eigenthümlicher Art für sich betrachtet, §. 149, und hauptsächlich die durch Zusammendrückung und chemische Verbindung erzeugte Wärme berücksichtigt, so sucht man die Ursache hiervon

1) in einer Verminderung des Raumes und einer hieraus folgenden Verminderung der absoluten Wärmecapacität. Werden nämlich Körper durch mechanische Mittel zusammengedrückt, oder durch chemische Anziehung bei ihrer Verbindung verdichtet, also gleichfalls in einen kleineren Raum gebracht, so würde die vorhandene Wärme zugleich mehr comprimirt, und ihre Intensität dem Producte aus der Raumverminderung in die specifische Wärmecapacität der comprimirten oder der verdichteten Körper proportional seyn. Diese einfache Erklärung ist deswegen unzulässig, a) weil die entbundene Wärme jenem Producte nicht allezeit proportional ist; z. B. die bei der Mischung einer Lösung von salzsaurem Kalk und Schwefelsäure frei werdende, verglichen mit der durch Vereinigung des Terpentinöls mit salpetersaurer Schwefelsäure. b) Weil Wärmeentwickelung sogar in einigen Fällen mit Verminderung des Volumens verbunden ist. Nach Thillaye z. B. giebt Alkohol von 0,9688

---

[1]) Lavoisier Mem. de l'Acad. 1777. p. 185. traité de chimie 387 ff. van Mons theor. de la combust. 1802. S. 77. id. in J. d. ph. LXVIII. 121. Dupyitren, Blainville u. Dumas in Mem. de l'Inst. XII. LXXX. Provencal in Mem. de l'Inst X. 86. Thomson in ann. of phil. 1815. num. XXX. art. IV. Prout in Schweigg. Journ. XV. 56. vorzüglich Le Gallois in Ann. de chim. et de Phys. IV. 1 ff. 113 ff. hauptsächlich Despretz in Ann. de Chim. et de Phys. XXVI. 337., dessen Untersuchungen unter die vorzüglichsten gehören.

spec. Gew. mit 0,5 seines Gewichtes Wasser gemischt Wärme und Vergröfserung des Volumens [1]), und nach Hassenfratz Kalk mit Wasser [2]). Gay-Lüssac [3]) mischte eine gesättigte Lösung salpetersauren Ammoniak bei 16°,3 C. und 1,302 spec. Gew. im Verhältnifs von 44,05 mit 33,76 Wasser, und erhielt eine Temperaturverminderung von 4°,95 bei einer Vermehrung der Dichtigkeit von 0,008. Hierzu mischte er noch Wasser im Verhältnifs von 33,64 zu 39,28, und erhielt Temperaturverminderung von 1°.9 bei einer Dichtigkeitsvermehrung von 0,003. c) Weil viele Verbindungen sogleich im Momente ihrer Entstehung eine unglaubliche Erhöhung der Temperatur mit Vermehrung des Volumens zeigen. Dahin gehören die sämtlichen Verpuffungen, z. B. des Schiefspulvers, des Knallgases, einer Mischung aus gleichen Theilen Chlorgas und Wasserstoffgas durch Einwirkung der Sonnenstrahlen u. a. m.

2) In einer Verminderung der specifischen Wärmecapacität, indem man annimmt, dafs die Summe der Wärmecapacitäten beider verbundener Körper gröfser sey, als die des neu entstandenen. Hiernach müfste dann die entbundene Wärme diesem Unterschiede direct proportional seyn, und es liefsen sich hieraus die unter 1. b. aufgeführten Erscheinungen leicht erklären. Allein hiergegen streitet unter andern die Entstehung der Wärme beim Verpuffen des Knallgases. Es verbindet sich dabei nämlich 1 ℔. Wasserstoffgas von der spec. Wärme $= 3,2936$ mit 8 ℔. Sauerstoffgas von der spec. Wärme $= 0,2361$, deren Vereinigung also $\frac{3,2936 + 8 \times 0,2361}{9} = \frac{3,2936 + 1,8888}{9} = 0,5758$ geben müfste, statt dafs die Wärmecapacität des Wassers $= 1$ ist. Wären also beide bis 100° C. erhitzt, so würde das entstandene Wasser nur 57°,58 C. haben können, und eine Wärmeverminderung von 42°,42 C. entstehen [4]). Ein ähnliches Verhalten findet statt bei den Verbindungen des Zinkes, Bleies und Kupfers mit Sauerstoff, und ohne Zweifel noch vielen anderen [5]).

3) In der Ausscheidung der zur gasförmigen Expansion oder zur Erzeugung des Flüssigkeitszustandes erforderlichen

[1]) Mém. de l'Inst. Vol. XIV. p. LXXXVI.
[2]) Ann. de Chim. XXXI. 284.
[3]) Ann. Chim. et Phys. I. p. 214.
[4]) Scholz Phys. 2te Aufl. p. 284.
[5]) L. Gmelin Handb. I. 150.

Wärme, welche man sonach allgemein Flüssigkeitswärme nennen könnte. Daſs diese Ursache in vielen Fällen wirksam sey, läſst sich nicht bezweifeln, und namentlich ist sie vorzüglich bei den Wirkungen des Knallgasgebläses thätig; allein als allgemeines Erklärungsmittel ist sie unzureichend. Bei der Bildung des Wasserstoffgas aus Zink, Wasser und Schwefelsäure müſste nämlich groſse Kälte entstehen, um nicht bloſs die groſse specifische Wärme des Wasserstoffgases zu erzeugen, sondern diesem auch die Expansion zu geben, statt dessen aber entsteht eine bedeutende Erhitzung der flüssigen Substanz. Beim Explodiren des Schieſspulvers entsteht eine bedeutend groſse Expansion und Verwandlung fester Körper in gasförmige, welche zugleich mit vollständiger und starker Glühhitze verbunden ist; selbst beim Verbrennen des Knallgases wird eine gasförmige Mischung im ersten Momente mit Ausscheidung einer bedeutenden Wärmemenge stark ausgedehnt, welche Thatsache nebst mehreren andern mit jener Hypothese durchaus unverträglich ist.

4) Nach der elektrochemischen Verbrennungstheorie von Berzelius ist die Wärme ein Product beider Elektricitäten, eine Hypothese, welche sich deswegen leicht auf eine Menge Erscheinungen anwenden läſst, weil jeder Körper zu einem andern in einem gewissen elektrischen Verhältnisse steht, oder mit andern Worten, weil die Elektricitäten eben so allgemein verbreitet sind als es die Wärme ist, indeſs fordert sie in den bedeutendsten Phänomenen gerade das Gegentheil von dem, was die Erfahrung zeigt. In jedem Körper sind im natürlichsten Zustande (dem o elektrischen) beide Elektricitäten vereint, welches also zugleich seine natürliche Wärme gäbe. Zwei verschiedene Körper können zwar eine eigenthümliche Disposition für eine der beiden Elektricitäten haben, allein in keinem ist weder die eine noch die andere für sich bestehend vorhanden, beide sind also im wirklichen elektrischen Indifferenzzustande. Werden sie zur Säule vereinigt, wobei das Nämliche von der leitenden Flüssigkeit gilt, so trennen sich die Elektricitäten, also die Wärme wird wieder in ihre beiden Elemente zerlegt, und es müſste im Verhältniſs der Spannung beider Pole der isolirten Säule Wärme absorbirt werden, statt daſs sie vielmehr producirt wird. Nicht consequent ist selbst erklärlich, warum die im Verbindungsdrahte zur Wärme vereinten Elektricitäten magnetische und chemische Wirkungen zeigen, die bei fortdauernder Wärme mit der Tren-

nung von einem oder beiden Polen sogleich aufhören, und man sieht deutlich, dafs hiernach also noch Elektricität aufser der durch diese Vereinigung entstandenen angenommen werden müfste, wodurch aber die Hypothese wieder aufgehoben wird. Eben so auffallend stehen die Phänomene der Reibungselektricität damit im Widerspruche. Wird angegenommen, dafs Wärme aus der Vereinigung beider Elektricitäten als Product entstehe, so mufs bei der Trennung derselben, wenn die eine in grofser Menge vom Reibzeuge, die andere vom ersten Conductor abgeleitet wird, nothwendig Kälte entstehen, statt der Wärme, welche man wirklich wahrnimmt. Ferner schmelzt und verkalkt der kräftige elektrische Funke der einfachen positiven und der einfachen negativen Elektricität Metalldrähte, wonach also jede für sich schon Wärme seyn müfste, was aber gegen die Erfahrung streitet, dafs keine von beiden, wie sehr sie auch aufgehäuft ist, die mindeste Wärme zeigt, vielmehr kommt leztere erst dann zum Vorschein, wenn die Elektricität irgend einen Widerstand in einem durchströmten Körper zu überwinden hat.

5) Einige haben zur Erklärung dieser Phänomene eine von der freien und latenten, also auch der Flüssigkeitswärme verschiedene, chemisch inniger gebundene, annehmen wollen. Allein eine solche Hypothese mufs schon deswegen verworfen werden, weil die Methode, sich solche zu erlauben, jeder Forschung den Weg versperrt, indem sie für verschiedene Phänomene verschiedene Potenzen anzunehmen gestattet und die Aufsuchung allgemeiner Gesetze ausschliefst. Die freie und latente Wärme, wozu auch die Flüssigkeitswärme gehört, lassen sich in ihrem Verhalten und in ihrem Uebergange in einander bestimmt nachweisen, sie gehören insgesammt einer einzigen Potenz zu, aufser welcher nicht noch eine neue statuirt werden kann, abgesehen davon, dafs die Thatsachen selbst noch nicht vereinigt sind, indem entgegengesetzte Modificationen (Verdichtungen und Verdünnungen) die nämlichen Erscheinungen der Wärmevermehrungen erzeugen.

Will man sich überhaupt auf die Erklärung dieser, mit dem eigentlichen Wesen der Wärme innigst zusammenhängenden Erscheinungen einlassen, so ist noch eine Hauptfrage zu berücksichtigen, nämlich die über die Wärme des Raumes. Gay-Lüssac [1]) hing ein feines Thermometer in

[1]) Ann. Chim. et Phys. XIII. 304.

einer Röhre auf, welche in eine weitere mit Quecksilber gefüllte herabgesenkt, und oben so zugeschroben werden konnte, dafs viele, wenige oder gar keine Luft darin zurückblieb. War sie in die Höhe gezogen und wurde sie dann schnell in das Quecksilber der weiteren Röhre herabgedrückt, so dafs die enthaltene Luft, von welcher Dichtigkeit sie auch seyn mogte, schnell verdichtet wurde, so zeigte das Thermometer allezeit merkliche Wärme, allein diese blieb beim ganz leeren Raume völlig aus, und er schliefst daher, es sey im leeren Raume gar keine Wärme. Noch ist kein Versuch bekannt, welcher diesen Satz unmittelbar vollständig wiederlegt; denn die Folgerung dafs im Vacuo der absolute Nullpunct seyn müsse, kann auf keine Weise als genügende Widerlegung angesehen werden, insofern dennoch jeder in dasselbe hineingebrachte Körper seine Wärme unverändert beibehalten würde, weil der leere Raum sie nicht aufnehmen kann. Dafs Quecksilberdämpfe im torricellischen Vacuo enthalten sind, beweiset nichts dagegen, weil die Wärme an sie gebunden gedacht werden mufs, und da die Körper die Wärme so viel schlechter leiten, je lockerer sie sind, so müfste der ganz leere Raum, dessen Dichtigkeit = o ist, auch das absolute Null der Leitung geben, oder gar keine Wärme enthalten. Es lassen sich hier noch anderweitige Betrachtungen anknüpfen, im Allgemeinen aber ist wohl aus einer Menge von Thatsachen und auf Analogie gebaueten Schlüssen nicht zu bezweifeln, dafs namentlich die torricellische Leere den Durchgang der strahlenden Wärme nicht hindert, und ein darin befindlicher Körper sie aufnehmen und seine eigene Wärme durch Strahlung verlieren würde, weil sonst die durch das Glas z. B. dringende leuchtende Wärme an den inneren Wandungen desselben festgehalten werden müfste. Dafs Gay-Lyssac sie nicht mefsbar fand führt vorläufig zu einer andern Frage, nämlich ob die Wärme des Raumes einer Compression fähig ist, was zwar gleichfalls sehr wahrscheinlich, aber eben so wenig als die Existenz derselben mit absoluter Gewifsheit entschieden ist. Auf allen Fall kann dieselbe nach jenen Versuchen nicht grofs seyn. Dieses vorausgesetzt scheint mir folgende Hypothese die beschriebenen Erscheinungen des Verhaltens der Wärme zu erklären.

1) Denkt man sich unter der Wärme eine, die Gasarten an Feinheit übertreffende, ätherische Flüssigkeit, welche gegen sich selbst repulsiv wirkend dem Gesetze der Anziehung zur ponderabelen Materie folgt, diesemnach also sich

nach dem Verhältnifs ihrer ungleichen Dichtigkeit innerhalb eines dazu erforderlichen Zeitraumes zwischen den verschiedenen Körpern ins Gleichgewicht setzt, so ist es sehr gut denkbar, dafs der Einflufs der Lichtwellen diesen Wärmestoff frei macht, und dafs dieser wiederum durch Wechselwirkung den Lichtäther in Schwingungen versetzt. Eben daher wird aber die durch die Sonnenstrahlen erregte Wärme beim Aufhören der wirkenden Ursache sobald wieder gebunden, die Erde erkaltet im Schatten, und der Thau schlägt sich aus der wärmeren Luft auf ihr nieder. §. 149.

2) Eine grofse Menge von Erhöhungen der Wärme, namentlich bei solchen Veränderungen der Körper, deren entgegengesetzte Kälte hervorbringen, mufs in Folge der Verdichtungen und hierdurch erzeugter verminderter Capacität erfolgen, wie z. B. die Ausscheidung der Wärme durch mechanische Verdichtung. Auf gleiche Weise können die Wirkungen einer vermehrten oder verminderten specifischen Wärmecapacität nie ausbleiben, und alle hieraus folgende Erscheinungen sind schon an sich klar.

3) Da wir die Wärme einmal als repulsives Princip und in stetem Conflicte mit der Attraction befindlich, selbst aber gewissen Gesetzen der Anziehung zu der ponderabelen Materie folgend betrachten müssen, die chemischen Verbindungen aber gleichfalls auf individuellen oder eigends modificirten Anziehungsgesetzen beruhen, so ist es nicht unnatürlich anzunehmen, dafs diese insgesammt sich in ihren Wirkungsäufserungen bedingen, eben wie der Weingeist das Wasser rücksichtlich seiner Adhäsion am Glase bedingt §. 69. Werden also zwei Körper a und b auf eine solche Weise disponirt, dafs zwischen ihnen plötzlich die Attractionskräfte in Thätigkeit kommen, so wird momentan die Anziehung der Wärme geschwächt. Aus dieser nicht unnatürlichen, durch die Analogie anderer Erscheinungen unterstützten Hypothese folgt die Erklärung der bei chemischen Verbindungen plötzlich frei werdenden Wärme, z. B. beim Benetzen trockner Substanzen nach Pouillet, bei der Bindung des Krystallisationswassers im Kalke, sofern hierbei nicht die specifische Wärmecapacität zur Erklärung der Wärme-Entbindung hinreicht, bei der Explosion des Schiefspulvers, dem Verpuffen des Knallgases, der Verbindung einiger Metalle mit Schwefel [1]) u. a. m.

---

[1]) Gehlen in Schweigg. Journ. XX. 353.

4) Es scheint mir aus einer Menge von Erscheinungen mit einem hohen Grade von Gewifsheit hervorzugehen, dafs verschiedene Wärmephänomene nicht sowohl aus einer eigentlichen Vermehrung, einem Ueberströmen, einer Bewegung des Wärmestoffes, als vielmehr aus Schwingungen desselben, Undulationen, Wellen desselben zu erklären sind, und so wie wir daher bei der Luft eine Menge Wirkungen aus dem Drucke und der Bewegung derselben (Aërostatik, Pneumatik), andere dagegen, namentlich die des Schalles, aus ihren Wellen erklären, eben so würden manche Erscheinungen der Wärme auf Vermehrung und Bewegung derselben, andere auf wellenartige Schwigungen zurückzuführen seyn. Es darf dann nicht auffallen, dafs oft so grofse Wirkungen der Wärme ohne eine eigentliche Vermehrung derselben zum Vorschein kommen, denn die Schwingungen des Wärmeäthers können immerhin auf ähnliche Weise einen verhältnifsmäfsig bedeutenden Effect zeigen, als die Schallwellen ohne eigentliche fortschreitende Bewegung und noch weniger durch eine Vermehrung der Masse dennoch die gröfsten massiven Gebäude erschüttern. Hierauf würde ich hauptsächlich die Erscheinungen der Wärmestrahlung zurückführen, weil es sonst einen bishero unerklärlichen Widerspruch einschliefst, dafs die Wärme sich durch trockne Luft so langsam bewegen, und zugleich grofse Räume in unmefsbarer Geschwindigkeit durchlaufen soll [1]). Diese Schwingungen würden dann auch durch den Wärmestoff des leeren Raumes, ohne ein eigentliches Durchströmen, fortgepflanzt werden.

5) Endlich ist es fraglich, ob nicht die Wärme, wenn sie an irgend einer Stelle hervorgerufen wird, sich nach diesem Orte hinzieht, ohne auf ihrer Bahn mefsbar zu seyn. Wollte man dieses annehmen, so liefsen sich hieraus manche Erscheinungen, namentlich die Resultate der durch Rumford und Davy erzeugten Reibungswärme und viele meteorologische sehr gut erklären; indefs ist es schwierig hierüber etwas mit Gewifsheit festzusetzen. Ohne dieses Leztere vorläufig als ausgemacht zu betrachten, scheinen mir jedoch die Wärmephänomene insgesammt aus den aufgestellten Sätzen erklärbar zu seyn.

§. 87.

Der Wärmestoff kann den Erfahrungen nach kei-

---

[1]) Vergl. meine Abhandlung über das Schiefspulver. p. 56.

nen Körper verlassen, wenn er nicht von einem andern aufgenommen wird. Befindet sich der erhitzte Körper im leeren Raume oder in trocknen Gasarten, deren Temperatur unverändert erhalten wird, so ist die Bewegung der Wärme langsam, und die Zeiten sind die Exponenten des für verschiedene Körper verschiedenen Verhältnisses der Wärmeabnahme. Daſs für gleiche Massen die Gröſse der Oberfläche einen Einfluſs auf die Zeit des Erkaltens habe, ist viel weniger unerwartet, als der groſse Einfluſs ihrer Blänke oder Rauheit. Fallen endlich die Wärmestrahlen auf eine polirte metallene Fläche, so werden sie nach Art des reflectirten Lichtes mit unglaublicher Geschwindigkeit fortgepflanzt und in einen Brennpunct vereinigt, ohne jedoch das Glas zu durchdringen. Lezteres geschieht bloſs bei stärker erhitzten Körpern und wird bei leuchtenden der Intensität des Lichtes proportional.

Man begreift alle die Phänomene, welche sich auf das Abgeben und Annehmen der Wärme bei den verschiedenen Körpern beziehen, unter dem gemeinsamen Namen der *Wärmeleitung*, worunter aber so viele und so mannigfaltig modificirte Erscheinungen gehören, daſs es nothwendig ist, dieselben von einander zu trennen. Es wird demnach in diesem §. zuerst von der Wärmeleitung im Allgemeinen gehandelt, welche die *Ableitung* und *Zuleitung* derselben begreift.

Alle Körper geben nur dann Wärme ab, wenn diese in ihnen gröſser ist, eine stärkere Spannung hat, oder wenn ihre Temperatur höher als die der Umgebung ist; dagegen nehmen sie solche in sich auf, wenn das Gegentheil bei ihnen stattfindet. Weil aber die umgebenden, insbesondere die unmittelbar berührenden, Körper einen bedeutenden Einfluſs auf die Zeit haben, in welcher sie die Wärme abgeben, so untersucht man sie zuerst in einer Umgebung, wobei jener am geringsten ist, in trockner Luft oder im luftleeren Raume. Newton nahm aus theoretischen Gründen an, daſs eine Kugel die Wärme von ihrer äuſsersten Hülle zunächst abgebe, und daſs von den mehr inneren Kugelschichten dieser Abgang almälig der Stärke der Spannung gemäſs ersetzt würde, woraus er dann folgerte, daſs

die Zeiten des Erkaltens die Logarithmen der Temperaturen, worauf sich die Körper im Verhältniſs zu ihrer Umgebung befänden, seyen, oder daſs diese eine logarithmische Curve bilden müſsten. Ausführlicher wurde dieses Gesetz entwickelt durch Kraft und Richmann [1]), aufs Neue geprüft durch Biot und sowohl mit eigenen, als auch denen von Delaroche angestellten Versuchen übereinstimmend gefunden. Biot [2]) stellt daher hierfür das allgemeine Gesetz auf, daſs $\log. T = \log. T_0 - \frac{a}{m} t$, worin T und T_0 die Unterschiede der Temperatur des erwärmten Körpers über die Temperatur der umgebenden Luft in zwei Beobachtungen; m den Modulus der gemeinen Logarithmen, a einen beständigen Coefficienten und t die Zeit in Minuten bezeichnet. Versuche, welche im Allgemeinen hiermit übereinstimmen hat Rumford [3]) angestellt, noch mehr ist dieses aber durch Dülong und Petit geschehen [4]), welche die erkaltenden Körper in das Guerickesche Vacuum brachten, und dann folgendes Gesetz herausbrachten: Wenn ein Körper in einer leeren Hülle erkaltet, die zugleich in einer gleichbleibenden Temperatur erhalten wird, so wächst die Geschwindigkeit des Erkaltens für die im arithmetischen Verhältnisse wachsenden Temperaturen in einer geometrischen Reihe weniger einer beständigen Zahl. Es ist dieses im Wesentlichen das Newtonsche Gesetz, und sie drückten dieses durch die Formel $w = m a^{\vartheta} (a^t - 1)$ aus, worin w die Geschwindigkeit des Erkaltens, $a = 1{,}0077$, t die Zeit in Minuten und ϑ den Unterschied der Temperatur der den Körper einschlieſsenden Hülle über 0° C. bezeichnet [5]). Eine unglaublich groſse Reihe von Versuchen, um die Wärmeleitung (Ableitung) bei den verschiedensten Körpern aus der Zeit ihres Erkaltens in ruhiger trockner Luft zu bestimmen

---

1) Nov. Com. Acad. Pet. I. p 195.

2) Traité IV. p. 627.

3) Phil. Trans. 1804. T. I. p. 87.

4) Ann. Chim. et Phys. VII. p. 225 und 337.

5) Die ausführlichsten, aber durch schweren Calcül weniger zugänglichen Untersuchungen namentlich über die Gesetze des Erkaltens und über das Verhältniſs der Wärme überhaupt hat Fourier in Théorie de la chaleur. Par. 1822. 4. und in verschiedenen einzelnen Abhandlungen angestellt. Sehr belehrend ist ferner Poisson, Mém. sur la distribution de la Chaleur in Journ. de l'Ecole Polyt. T. XII. v. J. 1823.

sind durch Boeckmann [1]) angestellt. Hieraus geht das Resultat hervor, dafs die lockersten Körper, als Holz, Kohle u. s. w. die besten Wärmeleiter sind, weil gleich grofse Kugeln von diesen Substanzen unter gleichen Bedingungen in kürzerer Zeit erkalten, als von Metallen. Hierin liegt aber offenbar ein Irrthum, und es müfste dieses nothwendig zu unrichtigen Resultaten und Widersprüchen mit andern bekannten Thatsachen führen, wenn man hiernach die lockersten Körper die besten Wärmeleiter nennen wollte. Das Irrige liegt indefs darin, dafs man nicht geradezu auch nur die Wärmeableitung den Zeiten des Erkaltens gleich grofser Kugeln umgekehrt proportional setzen kann, weil zugleich die Menge des in verschiedenen Körpern enthaltenen Wärmestoffes zu berücksichtigen ist. Multiplicirt man das Verhältnifs der specifischen Wärme der untersuchten Körper mit ihrem specif. Gewichte und der Zeit des Erkaltens, so ist das Product eine in soweit constante Gröfse, als man bei der Unsicherheit der ersten beiden Factoren erwarten kann, wie folgende, ohne weitere Wahl und nur zufällig aus der Mitte genommene Beispiele zeigen, bei denen die uncorrigirten Werthe die durch Boeckmann gefundenen sind [2]).

Körper.	Wärmeleitung. uncor.	Wärmeleitung. corrig.	Körper.	Wärmeleitung. uncor.	Wärmeleitung. corrig.
Weifstannenholz	1,282	0,4527	Sandstein.	0,749	0,4269
Eichenholz .	1,181	0,7861	Kalkstein.	0,666	0,4291
Mörtel . . .	0,944	0,4316	Backstein.	0,988	0,4387
Glas . . .	0.783	0,3960	Eisen.	0,332	0,3361

Blofs das Eichenholz macht hier eine auffallende Ausnahme von der Regel, die sich bei allen übrigen 7 Substanzen so genau bewährt, als die Unsicherheit der gebrauchten Elemente erwarten läfst. Es käme dieses mit demjenigen überein, was Joh. Tob. Mayer [3]) als Gesetz aufgestellt hat,

[1]) Ueber die Wärmeleitung verschiedener Körper. Carlsr. 1812. Frühere schätzbare Versuche von Richmann findet man in Nov. Com. Acad. Petrop. T. IV.

[2]) Das hier gefundene Resultat ist allerdings merkwürdig, und verdient weiter verfolgt zu werden, wozu hier der Raum fehlt. Sollte es als allgemeines Gesetz erscheinen, so berechtigte es dazu, den Wärmestoff als etwas nach Affinitätsgesetzen an die ponderabele Materie gebundenes zu betrachten. Vergl. §. 90. das von Dalton für Gasarten aufgefundene Gesetz.

[3]) Gesetze und Modific. des Wärmestoffes. Erl. 1796. Vergl. Gren Journ. III. 19. v. Crell Ann. 1798. St. 6.

nämlich dafs die Wärmeleitung = L der Körper ihrem spec. Gewichte = M und ihrer specifischen Wärmecapacität umgekehrt proportional, oder $L = \frac{1}{M A}$ ist.

Die Ableitung der Wärme wird bedingt durch die Gröfse und Beschaffenheit der Oberfläche der verschiedenen Körper. Im erfüllten Raume bietet die gröfsere Oberfläche den berührenden Substanzen eine weit gröfsere Zahl von Berührungspuncten dar, und diese Bedingung bleibt auch im luftverdünnten Raume, im absoluten Vacuo aber, welches schon an sich so schwer oder gar nicht zu erhalten ist, sofern sich selbst im Torricellischen allezeit noch Quecksilberdämpfe finden, ist das Verhalten der Körper noch nicht untersucht. Auf allen Fall ist die Wärme bei vergröfserter Oberfläche mehr an derjenigen Grenze, wo ihre Spannung freier nach aufsen wirken kann, ohne einen Körper durchdringen zu müssen. Unter allen Körperformen hat die Kugel die geringste Oberfläche, und erfordert daher bei gleicher Masse die längste Zeit des Erkaltens.

Aufser der Gröfse der Oberfläche wird die Ableitung der Wärme sehr bedingt durch die Beschaffenheit derselben, und es tritt hierbei der merkwürdige Umstand ein, dafs der Einflufs derselben eben so die Aufnahme als die Abgabe der Wärme trifft, wobei es als allgemeines Gesetz gilt, dafs blanke Oberflächen die Wärme ungleich schwerer durchlassen als rauhe. Diese interessante Thatsache ist insbesondere durch Rumford [1]) aufgefunden, welcher die Ausstrahlung der Wärme aus blanken Flächen mit der aus blinden verglich. Der dünneste Ueberzug von Goldschlägerhaut, noch mehr einer Farbe oder von Rufs befördert ausnehmend den Durchgang der Wärme. Es läfst sich dieses am leichtesten anschaulich machen an einem der einfachsten, durch Rumford gebrauchten Apparate, nämlich einem Würfel von Weifsblech oder polirtem Kupfer oder Messing (Silber würde am geeignetsten seyn), von 5 bis 6 Z. Seite, bei welchem ohne Rücksicht auf die untere und obere Fläche die eine Seitenfläche bestens polirt, die andere rauh, die dritte mit weifser Farbe, die vierte mit einer dünnen Lage Rufs von verbranntem Terpentinöl oder Kienholz überzogen ist. Bringt man in gleichen Abstand von diesen

[1]) Mémoires sur la Chaleur. cet. A Paris an. XIII. 1804. 8. Mém. de l'Inst. VI. 71. Phil. Trans. LXXXVIII. 80 ff. Gilb. Ann. XVII. 33.

Flächen ein empfindliches Thermometer, nachdem der Würfel mit siedendem Wasser gefüllt ist, so wird dieses der blanken Fläche gegenüber sinken, den andern gegenüber mehr oder minder steigen; bei der Berührung mit der Hand erscheint aber die blanke Fläche am heifsesten, weil dann die Durchleitung der Wärme in Betrachtung kommt. Aehnliche Beobachtungen machten unter andern Boeckmann [1]) und insbesondere Leslie [2]), nach welchem die Wärmestrahlung bei polirtem Zinn, Kupfer, Silber und Gold = 12; bei polirtem Eisen = 15; bei polirtem Blei = 19; bei Graphit = 75; bei Mennig mit Hausenblase aufgetragen = 80; bei Eis = 85; bei der Färbung durch Tusche = 88; bei Kronglas = 90; bei Siegellack = 95; bei einem harzigen Ueberzuge = 95; bei einem Ueberzuge von Lampenrufs = 100 ist. Tredgold [3]) findet aus seinen Versuchen die Wärmestrahlung bei verzinntem Eisenblech = 100; bei Glas = 155; bei Eisenblech mit glatter schwarzer Oberfläche = 156; bei Eisenblech mit rostig brauner Oberfläche = 180. Es folgt hieraus, dafs erhitzte Flüssigkeiten in Gefäfsen mit blanker Oberfläche ungleich langsamer erkalten, und diese sich daher zur Aufbewahrung oder Fortführung derselben mit geringem Wärmeverluste ungleich besser eignen, als die mit rauher oder dunkler, welche dann weit geeigneter sind, wenn jene ihre Wärme in der kürzesten Zeit abgegeben, oder der Umgebung mittheilen sollen. Merkwürdig ist hierbei, dafs die Blänke der Oberfläche das Ausströmen der Wärme hindert, obgleich die erhitzten Körper das Metall unmittelbar berühren, und diesem daher allerdings die höhere Temperatur mittheilen.

Leichter erklärlich scheint es, dafs die Wärme von blanken Oberflächen zurückgeworfen, und am Eindringen in dieselben gehindert wird, woraus unter andern das Phänomen erklärt werden kann, dafs Fensterscheiben an den Stellen nicht bethauet oder mit Eis überzogen werden, wo sie an der Rückseite mit Stanniol beklebt sind. Aufser den Erfahrungen, welche die eben genannten Physiker hierüber gemacht haben, gehören hierher vorzüglich diejenigen, woraus hervorgeht, dafs blanke Flächen nicht blofs der Wärme das Eindringen versperren und ihre Strahlen zu-

[1]) Ueber die Wärmeleitung p. 147.

[2]) Inquiry into the nature of heat. Lond. 1804.

[3]) Grundsätze der Dampfheitzung u. s. w. übersetzt von Kühn. Leipz. 1826. p. 32.

rückwerfen, sondern sogar dieselben auf gleiche Weise, als dieses bei den Lichtstrahlen der Fall ist, in einen Brennpunct concentriren, und mit unmeſsbarer Geschwindigkeit fortpflanzen. Aeltere Versuche hierüber machte King [1]) bekannt, die zahlreichsten und genauesten aber sind von Pictet [2]), nach welchem auch die Pictetschen Brennspiegel benannt sind, deren man sich jetzt allgemein zu diesem Behufe bedient; spätere Versuche endlich sind von Prevost [3]). Bringt man in den Brennpunct eines solchen metallenen Hohlspiegels einen heiſsen Körper, in den eines zweiten in einer Entfernung von 20 bis 100 F. genau gegenüberstehenden ein empfindliches Thermometer, so wird dieses sofort zu steigen anfangen. Man ersieht die unmeſsbare Geschwindigkeit am leichtesten, wenn man beide Spiegel gehörig vorrichtet, eine Tafel dazwischen stellt, und diese schnell wegnimmt, worauf die Wirkung sich augenblicklich zeigt. Die Erscheinung findet ganz allgemein statt, sobald im Brennpuncte beider Spiegel Körper von ungleicher Temperatur befindlich sind. Bringt man daher in den einen ein Stück Eis, in den andern ein Thermometer, so wird lezteres sinken, nicht weil das Eis Kältestrahlen aussendet, sondern das Thermometer Wärmestrahlen. Hieraus geht hervor, daſs keineswegs die Lichtstrahlen, sondern eigenthümliche Wärmestrahlen die Erscheinung hervorbringen, welche ich auf die §. 86 hypothetisch aufgestellten Undulationen zurückzubringen geneigt bin, weil sonst nicht wohl begreiflich wäre, warum im Widerspruche mit den Gesetzen der Bewegung, wonach die Wärme durch die Luft fortgeleitet wird, diese von dem heiſseren Körper ausgehend so schnell den Spiegel erreichen könnte, geschweige denn daſs sie den ganzen cylindrischen Raum ausfüllen und in unmeſsbarer Geschwindigkeit durchlaufen sollte, welchen man sich zwischen den beiden Spiegelflächen existirend vorstellen kann. Die Geschwindigkeit der Bewegung ist den Beobachtungen nach gleich stark, der wärmere Körper mag leuchtend oder dunkel seyn, wobei jedoch merkwürdig ist, daſs die Wärmestrahlen das Glas nicht durchdringen, wenn sie dunkel sind, und zunehmend mehr, je mehr sie leuchtend werden, §. 149. Ein glühender Körper, z. B. glühende Kohle, im Brennpuncte des einen

[1]) S. Morsels of Criticism. Lond. 1788. 4. 1 ff.

[2]) Versuch über d. Feuer, d. Ueb. Tüb. 1790. 8. Cap. 3. Vergl. Biot Traité IV. 632. Voigt Mag. VII. 334. Gilb. Ann. XIII. 120.

[3]) Calorique rayonnant. Genev. 1809.

Spiegels, vermag einen leicht zündlichen, z. B. Schwamm, im Brennpuncte des andern zu entzünden. Von der Reflexion der Wärmestrahlen von den Flächen, auf welche sie fallen, hat Rumford [1]) eine praktische Anwendung auf die Construction der Camine gemacht.

Auf die Wärmeableitung (Abkühlung) der Körper hat die Beschaffenheit der umgebenden einen sehr grofsen Einflufs, welches zum Theil unter die Erscheinungen der Fortleitung §. 88 und Durchleitung §. 89 der Wärme gehört. Im Allgemeinen kann im luftleeren Raume nur eine eigentliche Ausstrahlung der Wärme stattfinden. Ist indefs der erwärmte Körper mit andern, namentlich den verschiedenen Gasarten, in Berührung, so theilt er diesen nach ihrer eigenthümlichen Beschaffenheit langsamer oder schneller Wärme mit, wodurch ihre Temperatur erhöhet wird, aufserdem aber findet eine, hauptsächlich auf dunkle Körper wirkende, Strahlung statt, welche so viel stärker ist, je gröfsere Intensität die Wärme des Körpers hat, insbesondere wenn sie leuchtend ist. So dringt unter andern die Wärme eines Feuers durch Glas, ohne dieses merklich zu erwärmen, selbst durch gefrorene Fensterscheiben, und erhitzt einen in einiger Entfernung dahinter befindlichen dunkeln Körper, ohne das Eis der Glasscheiben überhaupt oder merklich zu schmelzen. Der Wärmeverlust der Körper durch diese Strahlung, wenn ein solcher überhaupt stattfindet, ist der Höhe der Temperatur proportional, wie schon oben erwähnt ist, derjenige durch Mittheilung gleichfalls, und hängt aufserdem von der Dichtigkeit der umgebenden Körper und ihrem hierdurch gröfstentheils bedingten Fortleitungs- und Durchleitungsvermögen ab, zugleich aber auch von der specifischen Wärmecapacität und dem leichteren Ableitungsvermögen der erhitzten Körper. So kann man unter andern eine Lichtflamme und eine glühende Kohle momentan berühren, und einen unter Wasser getauchten glühenden Glasklumpen mit der Hand umfassen, nicht aber eine gleich grofse Masse glühendes Eisen; auch kann man über glühende Lava hinlaufen u. s. w. Nach Dülong und Petit [2]) erkalten die Körper am schnellsten in Wasserstoffgas, ohne Zweifel wegen seiner grofsen Wärmecapacität, und dann mit abnehmender Geschwindigkeit im ölerzeugenden Gase, in atmosphärischer Luft, im kohlensauren Gase. Aehnliche Resultate erhielten

[1]) Gilb. Ann. IX. 61.

[2]) Ann. Chim. et Phys. VII. 225.

Dalton [1]) und Davy [2]), nach welchen die Erkaltung am langsamsten im Chlorgas erfolgt.

Diesen Gesetzen analog sind diejenigen, wonach die Körper ungleich schnell die Wärme von den sie unmittelbar berührenden Substanzen aufnehmen, wobei die Beschaffenheit ihrer Oberfläche weniger in Betrachtung kommt, als ihre Fähigkeit, die Wärme schnell aufzunehmen und durch ihre Masse fortzuleiten, §. 88. Hierauf beruhen die täuschenden Schlüsse aus dem Gefühle auf die Temperatur der berührten Körper, indem wir bei gleicher Wärme verschiedener Körper diejenigen für wärmer oder weniger kalt halten, welche am wenigsten Wärme in sich aufnehmen. So wird z. B. Quecksilber bei der Berührung ungleich wärmer oder kälter zu seyn scheinen, als Holz, Asche, Leder u. dgl., wenn die Temperatur dieser Substanzen höher oder niedriger ist, als die des berührenden Körpers. Hierauf beruhet die Erscheinung, dafs ein benetzter Finger bei strenger Kälte an Metallen sogleich festfriert, an Holze, bei gleicher Temperatur beider, aber nicht; dafs nach anhaltender Kälte bei eintretender feuchter Wärme steinerne Mauern mit Eis überzogen werden, das Anlegen des Lichtschwalkes und des Wasserdunstens an massive Wände mit Verschonung der hölzernen u. dgl. m.

§. 88.

Auf eine ganz verschiedene Weise zeigt sich das Verhalten der Körper hinsichtlich der Zeit des Fortganges der Wärme, durch ihre ganze Masse, und man kann annehmen, dafs dieselbe im Allgemeinen bei denjenigen Körpern am gröfsten ist, welche am schnellsten erkalten. Man unterscheidet auch hiernach die besseren und schlechteren Wärmeleiter, in näherer Bestimmung aber ist hier blofs von dem Vermögen der verschiedenen Körper die Rede, die Wärme mehr oder minder schnell in ihrer Masse fortzuleiten, also vom Wärmefortleitungsvermögen der Körper, welches im Ganzen ihrer Dichtigkeit direct proportional ist.

Unterscheidet man diese eigenthümliche Art der Wärme-

---

[2]) Neues System u. s. w. I. 114.

[3]) Schweigg. J. XX. 153.

leitung, nämlich das verschiedene Vermögen der Körper, die Wärme in ihrer Masse fortzuleiten, oder das *Fortleitungsvermögen,* ohne Rücksicht auf die Ausstrahlung derselben und das Abgeben an andere berührende Körper, so hat in früheren Zeiten hauptsächlich Ingenhousz [1]) mehrere Versuche mit einem Apparate angesellt, wozu ihm die erste Idee durch Franklin mitgetheilt war. Er faſste nämlich gleich dicke und lange Drähte von verschiedenen Metallen in einen Rahmen, überzog sie mit Wachs und lieſs sie erkalten. Dann tauchte er sie gleich tief in ein Gefäſs mit heiſsem Oele, und zog sie, in dem Rahmen festsitzend, gleichzeitig aus demselben in die Höhe. Durch die Hitze des Oeles schmolz das Wachs, und bildete einen Absatz an der Stelle, bis wohin die Schmelzung gereicht hatte, wobei die Höhe über dem Puncte, bis zu welchem sie in das Oel gesenkt waren, das Verhältniſs der Leitungsfähigkeit angab. Hiernach ordnete er die Metalle rücksichtlich ihrer Leitungsfähigkeit: Silber, Gold, Kupfer, Zinn, Platin, Stahl, Eisen, Blei. Ungleich schlechtere Leiter als die Metalle sind Glas, Porcellan, Thon, Holz, Kohle u. dgl., wie man schon daraus sieht, daſs man eine Glasstange wenige Zolle von dem Puncte, wo sie glühet, anfassen kann, einen Metalldraht aber nicht.

Neuerdings hat man insbesondere das Gesetz aufzufinden gesucht, nach welchem die Wärme in der ganzen Länge eines Körpers abnimmt, wenn er an zwei Stellen eine bleibende Temperatur hat. Dieses ist hauptsächlich durch Rumford [2]) und noch mehr durch Biot [3]) geschehen. Beide bedienten sich derselben Methode, lezterer insbesondere, indem er Metallstäbe an einem Ende mit einem Gefäſse voll siedenden Wassers, am andern mit einem voll Eis in Berührung brachte, um an jedem einen von den festen Puncten des Thermometers bleibend zu erhalten. In gemessene Entfernungen bohrte Biot Löcher in die Metallstäbe, goſs diese voll Quecksilber und senkte in dieses feine Thermometer. Als Resultat dieser Versuche ergab sich, daſs die Temperaturen als Ordinaten für gleiche Abstände als Abscissen aufgetragen eine logarithmische Curve gaben. Der analytische Ausdruck hierfür ist: $\log.\, y = \log.\, Y - \frac{x}{m} \sqrt{\frac{b}{a}}$, worin Y

[1]) Vermischte Schriften, übers. von Molitor. Wien 1784. II. 343. Journ. de Phys. XXXIV. 68.

[2]) Mém. sur la chaleur. In Gilb. Ann. XVII. 22.

[3]) Traité IV. p. 666. Vergl. Gilb. Ann. XVII. 231.

den Unterschied beider Temperaturen, x den Abstand, y die gesuchte Temperatur, m den Modulus der gemeinen Logarithmen und $\gamma\frac{b}{a}$ eine constante Gröfse bezeichnet. Man sieht, dafs diese Formel der §. 87 angegebenen Newtonschen gleich ist, was auch aus der Natur der Sache folgt. Hat man zwei bekannte Werthe von y und x, so können hieraus Y und $\gamma\frac{b}{a}$ gefunden werden, oder man findet aus den bekannten Werthen von x und y und Y den jedem Körper zugehörigen Coefficienten $\gamma\frac{b}{a}$. Despretz [1]) in seinen neuesten Versuchen erhielt hiermit ganz übereinstimmende Resultate.

§. 89.

In den meisten Fällen versteht man unter Wärmeleitung der Körper ihr gröfseres oder geringeres Vermögen, Wärme durch ihre Masse strömen zu lassen, welches diesemnach genauer Durchleitungsvermögen genannt wird. Nach einem in dieser Beziehung sehr allgemein gültigen Gesetze wird dieses Wärmeleitungsvermögen der Dichtigkeit der Körper direct proportional angenommen.

Vorzüglich kommt in technischer, ökonomischer und medicinischer Hinsicht die Fähigkeit der Körper, Wärme durch ihre Masse durchströmen zu lassen, in Betrachtung, welche man allgemein *Durchleitungsvermögen* nennen könnte. Dafs hierbei die Erkaltungsfähigkeit und die Beschaffenheit der Oberfläche zugleich berücksichtigt werden müsse, versteht sich von selbst. Sind die Bedingungen in dieser Hinsicht gleich, so zeigen sich nach dem angegebenen Gesetze der leere Raum, die trockne Luft, Federn, Pelzwerk, Seide, Baumwolle u. a. Asche, Holz u. s. w. als schlechte Leiter [2]). Die Expansibilien und tropfbaren Flüssigkeiten, mit Ausnahme des Quecksilbers, lassen die Wärme langsam durchströmen. Nach Rumford sind sie gar keine Leiter

1) Ann. Chim. et Phys. VI 184. Traité élém. de Phys. Par. 1825. p. 197.

2) Gren Journ. d. P. IV. 418. Gilb. Ann. V. 283. Senebier in Mém. de l'Acad. de Turin an XIII. Gehlen VII. 307.

leitung, nämlich das verschiedene Vermögen der Körper, die Wärme in ihrer Masse fortzuleiten, oder das *Fortleitungsvermögen,* ohne Rücksicht auf die Ausstrahlung derselben und das Abgeben an andere berührende Körper, so hat in früheren Zeiten hauptsächlich Ingenhousz [1]) mehrere Versuche mit einem Apparate angesellt, wozu ihm die erste Idee durch Franklin mitgetheilt war. Er fafste nämlich gleich dicke und lange Drähte von verschiedenen Metallen in einen Rahmen, überzog sie mit Wachs und liefs sie erkalten. Dann tauchte er sie gleich tief in ein Gefäfs mit heifsem Oele, und zog sie, in dem Rahmen festsitzend, gleichzeitig aus demselben in die Höhe. Durch die Hitze des Oeles schmolz das Wachs, und bildete einen Absatz an der Stelle, bis wohin die Schmelzung gereicht hatte, wobei die Höhe über dem Puncte, bis zu welchem sie in das Oel gesenkt waren, das Verhältnifs der Leitungsfähigkeit angab. Hiernach ordnete er die Metalle rücksichtlich ihrer Leitungsfähigkeit: Silber, Gold, Kupfer, Zinn, Platin, Stahl, Eisen, Blei. Ungleich schlechtere Leiter als die Metalle sind Glas, Porcellan, Thon, Holz, Kohle u. dgl., wie man schon daraus sieht, dafs man eine Glasstange wenige Zolle von dem Puncte, wo sie glühet, anfassen kann, einen Metalldraht aber nicht.

Neuerdings hat man insbesondere das Gesetz aufzufinden gesucht, nach welchem die Wärme in der ganzen Länge eines Körpers abnimmt, wenn er an zwei Stellen eine bleibende Temperatur hat. Dieses ist hauptsächlich durch Rumford [2]) und noch mehr durch Biot [3]) geschehen. Beide bedienten sich derselben Methode, lezterer insbesondere, indem er Metallstäbe an einem Ende mit einem Gefäfse voll siedenden Wassers, am andern mit einem voll Eis in Berührung brachte, um an jedem einen von den festen Puncten des Thermometers bleibend zu erhalten. In gemessene Entfernungen bohrte Biot Löcher in die Metallstäbe, gofs diese voll Quecksilber und senkte in dieses feine Thermometer. Als Resultat dieser Versuche ergab sich, dafs die Temperaturen als Ordinaten für gleiche Abstände als Abscissen aufgetragen eine logarithmische Curve gaben. Der analytische Ausdruck hierfür ist: $\log. y = \log. Y - \frac{x}{m}\sqrt{\frac{b}{a}}$, worin Y

[1]) Vermischte Schriften, übers. von Molitor. Wien 1784. II. 343. Journ. de Phys. XXXIV. 68.

[2]) Mém. sur la chaleur. In Gilb. Ann. XVII. 22.

[3]) Traité IV. p. 666. Vergl. Gilb. Ann. XVII. 231.

den Unterschied beider Temperaturen, x den Abstand, y die gesuchte Temperatur, m den Modulus der gemeinen Logarithmen und $\gamma\frac{b}{a}$ eine constante Gröſse bezeichnet. Man sieht, daſs diese Formel der §. 87 angegebenen Newtonschen gleich ist, was auch aus der Natur der Sache folgt. Hat man zwei bekannte Werthe von y und x, so können hieraus Y und $\gamma\frac{b}{a}$ gefunden werden, oder man findet aus den bekannten Werthen von x und y und Y den jedem Körper zugehörigen Coefficienten $\gamma\frac{b}{a}$. Despretz [1]) in seinen neuesten Versuchen erhielt hiermit ganz übereinstimmende Resultate.

§. 89.

In den meisten Fällen versteht man unter Wärmeleitung der Körper ihr gröſseres oder geringeres Vermögen, Wärme durch ihre Masse strömen zu lassen, welches diesemnach genauer Durchleitungsvermögen genannt wird. Nach einem in dieser Beziehung sehr allgemein gültigen Gesetze wird dieses Wärmeleitungsvermögen der Dichtigkeit der Körper direct proportional angenommen.

Vorzüglich kommt in technischer, ökonomischer und medicinischer Hinsicht die Fähigkeit der Körper, Wärme durch ihre Masse durchströmen zu lassen, in Betrachtung, welche man allgemein *Durchleitungsvermögen* nennen könnte. Daſs hierbei die Erkaltungsfähigkeit und die Beschaffenheit der Oberfläche zugleich berücksichtigt werden müsse, versteht sich von selbst. Sind die Bedingungen in dieser Hinsicht gleich, so zeigen sich nach dem angegebenen Gesetze der leere Raum, die trockne Luft, Federn, Pelzwerk, Seide, Baumwolle u. a. Asche, Holz u. s. w. als schlechte Leiter [2]). Die Expansibilien und tropfbaren Flüssigkeiten, mit Ausnahme des Quecksilbers, lassen die Wärme langsam durchströmen. Nach Rumford sind sie gar keine Leiter

---

[1]) Ann. Chim. et Phys. VI. 184. Traité élém. de Phys. Par. 1825. p. 197.

[2]) Gren Journ. d. P. IV. 418. Gilb. Ann. V. 283. Senebier in Mém. de l'Acad. de Turin an XIII. Gehlen VII. 307.

berichtigen. Wenn es nämlich heifst, dafs die Kleider den Körper wärmen, so besagt dieses nur, dafs sie ihm keine Wärme entziehen und es ist allerdings richtig, dafs dieses durch die lockeren Stoffe, als Pelzwerk, Flaumfedern, Wolle, Baumwolle, Leinen u. s. w. ungleich langsamer und schwerer als durch die festeren geschieht, und Wachstaffent wird oft deswegen als Heilmittel angewandt, insofern er die Wärme der eingehüllten Theile des menschlichen Körpers bleibend erhält. Genau genommen wärmen indefs diese Substanzen den Körper nicht, sondern sie werden vielmehr von ihm erwärmt, denn ein in dieselben eingewickeltes Thermometer behält bei nicht zu rascher Aenderung die Temperatur der äufseren Umgebung; allein sie leiten die Wärme des Körpers schwer ab, und halten ihn in diesem Sinne warm.

Es lassen sich bei dieser Gelegenheit noch einige Erscheinungen erörtern, welche auffallend, und wohl nur erst zum Theil genügend erklärt sind. Dahin gehört, dafs nach Rumford [1]) Wasser in gleich grofsen, aber sechsmal dickeren gläsernen Flaschen früher erkaltet, als in andern von Weifsblech, welches aus der geringen Ausströmung der Wärme aus der blanken Oberfläche des lezteren nach Leslie's §. 87 angegebener Bestimmung erklärlich wird; ferner dafs nach Davenport's (nicht weit genug verfolgter) Untersuchung [2]) siedendheifses Theer von 102° C. einen hineingetauchten Finger nicht verbrennen soll; hauptsächlich aber die merkwürdige Erscheinung der sogenannten Unverbrennlichen. Die Nichtverbrennung der menschlichen Haut bei der Berührung des glühenden Eisens kommt vorzüglich in den Ordalien vor [3]), und später zeigten herumreisende Künstler diese Eigenschaft an sich [4]). Im Anfange dieses Jahrhunderts machte die Sache abermals Aufsehen, und wahrscheinlich ist es der nämliche Roger, ein Spanier aus Toledo, welcher in Frankreich, Italien, Deutschland und Rufsland seine Kunststücke zeigte. Dafs diese nicht auf einer Gaukelei und Augentäuschung beruheten, oder damit in Parallele stehen, dafs Schmiede durch einen dicken Callus in den Händen geschützt schnell über glühendem

1) Mém. de l'Inst. VI. p. 102.

2) Ann. of Phil. IX. 111. Bullet. de la soc. Philom. 1817.

3) Eine Hindeutung auf diese Sache findet sich im Sophocles Ant. 265.

4) Aeltere Nachrichten finden sich im Journ. des Savans. 1677. p. 54. u. 222; 1680. p. 292. Auch Leibnitz redet davon in Act. Erud. Lips. und Wiegleb erzählt ein Beispiel der Art. Magie XVIII. p. 84.

Eisen hinfahren, beweisen die genauen Beobachtungen in der Ecole de Medicine [1]) und vor französischen Aerzten [2]). Ich selbst habe gesehen, dafs Roger mit einem hellroth-glühenden Eisen über seine Zungn einigemale fuhr, wobei mir die strahlende Wärme des Eisens bis zur Unannehmlichkeit im Gesichte merklich wurde, desgleichen dafs er mit der rechten Ferse einen Stab Eisen, etwa 2,5 Z. breit und fast 0,3 Z. dick, welcher in der Mitte hellroth glühete, erst krumm, dann gerade bog, und endlich sich mit der nämlichen Ferse in einem ganzen Kreise darauf umdrehete, wobei der Stab über eine Linie in den benetzten Boden einbrannte, seine Haut aber bei der Besichtigung sich ganz ohne Callus, weich, kalt und unversehrt zeigte, obgleich man beim Experimente einen brenzlichen Geruch wahrnahm. Vermuthlich hat der nämliche bei Sementini [3]) diese Kunststücke gleichfalls gezeigt, welcher angiebt, dafs diese Eigenschaft der Haut durch Waschen mit einer Lösung von 0,5 ℔ Alaun in 4 Loth Schwefelsäure und 2 ℔ Wasser erhalten werde. Das vor den Versuchen hergehende Waschen geschah mit einer säuerlichen Lauge, wie ich in einem andern Falle herausbrachte, wobei unter andern ein kirschrothglühender eiserner Ofenhaken zwischen den Vorderzähnen in einem Bogen, welcher gewifs 40 Fufs Länge hatte, herumgetragen wurde. Uebrigens scheint mir nach den gemachten Beobachtungen das Eisen weit leichter und in ungleich höherer Temperatur berührt werden zu können, als andere Metalle.

Eine höchst interessante Erscheinung ist endlich der bekannte Versuch Leidenfrost's [4]), dafs Wasser in Metallen, welche weit über den Siedepunct des Wassers erhitzt sind, nicht siedet, sondern zur Kugel geformt langsam verdunstet. Klaproth [5]) wiederholte den Versuch, fand die Sache bestätigt, und setzte die Zeit des Verdampfens der Hitze des Metalles direct proportional, welches indefs nach meinen Versuchen nicht der Fall ist. Seitdem wurde der Versuch oft wiederholt, und Döbereiner [6]) erweiterte das Gebiet der Erscheinungen, insofern er auffand, dafs man die Tropfen bis zur Gröfse einer Wallnufs vergröfsern

1) Journ. de Phys. LVII. p. 66.
2) Pfaff u. Friedländer franz. Ann. III. 142.
3) Hermbstädt Bullet. X. Ht. 1. u. 5. Schweigg. J. III. 404.
4) De aquae com. nonnullis qualitat. Duisb. 1756.
5) Allgem. Journ. de Chem. VII. 646.
6) Schweigg. Journ. XXIX. 43.

kann. Nach ihm liegt die Ursache in der aufgehobenen Adhäsion zwischen Metall und Wasser und in einer rotirenden Bewegung des Tropfens, welcher nie so heiſs wird, daſs man ihn nicht mit dem Finger ohne Gefahr berühren könnte. Daſs das Wasser nicht mit dem Metalle in Berührung kommt, leiten viele von der höheren Elasticität der Dämpfe ab, welche den Tropfen zurückstoſsen sollen; allein da die Dichtigkeit derselben mit der Temperatur wächst, so würde ihre Bildung mehr Wasser erfordern, als bei der Siedehitze, und da sie unter einfachem atmosphärischen Drucke keine höhere Elasticität als die einer Atmosphäre annehmen können, so müſsten sie expandirt werden und dadurch an Temperatur abnehmen. Wären auſserdem diese Dämpfe bedeutend heiſser, als der Tropfen, dessen Wärme ohngefähr auf 60 Grade steigt, so würden sie sich an lezterem niederschlagen und seine Temperatur erhöhen, da man mit siedendheiſsen Dämpfen das Wasser so leicht und schnell ins Sieden bringen kann. Sobald aber das Metall mehr erkaltet ist, fängt das eigentliche Sieden an, und das Wasser wird schnell verzehrt. Neuerdings machte Perkins [1]) Beobachtungen bekannt, wonach das Wasser von glühendem Metalle so sehr zurückgestoſsen werden soll, daſs es durch Oeffnungen von $1/8$ Z. vermittelst eines Druckes von 35 bis 37 Atmosphären nicht hindurchgepreſst werden könne, so daſs also die Repulsion des glühenden Metalles sich bis auf die Entfernung von $1/16$ engl. Zoll erstrecken müſste. Nach einer Reihe von Versuchen, welche ich deswegen angestellt habe [2]), findet auch bei weiſsglühendem Metalle keine solche Repulsion des Wassers statt, daſs zwischen beiden ein durchgehender Lichtstreifen beobachtet werden könnte, und Tropfen fallen durch Löcher von kaum eine Linie weit auch ohne mechanischen Druck, wenn sie sich vom ganzen Tropfen durch Ueberwindung der Adhäsion trennen. Eine Rotation der Tropfen ist nur zufällig, und die Erscheinung keineswegs bedingend. So viel scheint mir ausgemacht, daſs im Mangel der Adhäsion nach Döbereiner die Ursache liegt, warum den Tropfen nur strahlende Wärme trifft, aber keine in seine Masse geleitete, und da die Adhäsion nur in unmeſsbare Ferne wirkt §. 69, so kann der Abstand zwischen Metall und Wasser immerhin unmeſsbar seyn; die Schwierigkeit liegt aber hauptsächlich darin, zu erklären,

1) Ann. Chim. et Phys. XXXVI. 435. Poggend. Ann. XII. 316.
2) Poggend. Ann. LXXXIX. p. 235.

wodurch und wie die Adhäsion aufgehoben wird. Hierüber läfst sich aber sagen, dafs schon durch erhöhete Temperatur die Adhäsion zwischen Metallplatten und Wasser abnimmt, und also bei so hoher Wärme so geringe werden kann, dafs die Adhäsion der Wassertheilchen unter sich gröfser als die gegen das Metall wird.

§. 90.

Wenn die Temperatur verschiedener Körper um gleiche Grade erhöhet werden soll, so erfordern einige mehr, andere weniger Wärme. Das Verhältnifs der für gleiche Massen erforderlichen Wärmemengen zur gleichmäfsigen Erhöhung der Temperatur giebt die specifische Wärmecapacität, der für gleiche Volumina die relative.

Die Temperaturerhöhung, welche ein erhitzter Körper erhält, ist allezeit der Differenz der zugeführten und gleichzeitig abgeleiteten Wärme gleich. Daher die Unverbrennlichkeit eines um ein Medicinglas gebundenen Fadens, das Schmelzen des Bleies in Papier, das Nichtverbrennen eines Stückes Papier oder Leinens, wenn man es über einer Metallplatte ausbreitet und eine glühende Kohle darauf legt [1]) u. s. w.

Man hat sich viele Mühe gegeben, die spec. Wärme der verschiedenen Körper zu bestimmen. Vorzüglich ist dieses geschehen durch Wilke [2]), durch Black, Kirwan, Crawford [3]) und durch Dalton [4]) aus der Temperatur vereinigter, ungleich erwärmter Körper, wobei die spec. Wärme nach Richmanns Regel berechnet werden kann [5]). Sind nämlich die Massen $= m$ und m'; die Temperaturen vor der Mischung $= t$ und t', so ist die Temperatur nach der Mischung $T = \frac{mt + m't'}{m + m'}$. Sind dann die specifischen Wärmecapacitäten $= c$ und c', so ist $(mc + m'c')\,T = mct + m'c't$ also $c' = \frac{mc\,(T - t)}{m'\,(t' - T)}$. Lavoisier und Laplace bestimmten

[1]) S. Bibl. univ. I. 157.
[2]) N. Schwed. Abh. II. 48.
[3]) Crawford Vers. u. Beob. über d. thier. Wärme, a. d. E. Leipz. 1785.
[4]) Neues System I. p. 56.
[5]) S. Nov. Com. Pet. I. 152.

die spec. Wärme der Körper vermittelst des Calorimeters [1]), wozu Tardy de la Brossy einen kleinen Beitrag geliefert hat [2]), Gay-Lüssac die der Gasarten [3]). Ist das Gewicht des untersuchten Körpers = P, des geschmolzenen Eises = p, die Temperatur des ersteren = t, so ist die spec. Wärme $c = \frac{p}{P\,t}$. Um sie auf das Wasser, als Einheit zu reduciren, wird sie mit 75 dividirt, weil das Eis 75° C. bedarf, um flüssig zu werden. Delaroche und Berard [4]) bedienten sich des Wassercalorimeters, indem sie die Gasarten durch ein Kühlrohr durch Wasser strömen liefsen, um die spec. Wärme derselben aus der Temperaturerhöhung desselben zu messen. Die Resultate ihrer genauen Versuche sind folgende.

Gasarten.	Gleiche Gewichte.	Gleiche Volumina.	Wasser als 1.
Atmosph. Luft	1,0000	1,0000	0,2669
Wasserstoffgas	12,3401	0,9033	3,2936
Kohlensäure	0,8280	1,2583	0,2210
Sauerstoffgas	0,8848	0,9765	0,2361
Stickgas	1,0318	1,0000	0,2754
Salpetergas	0,8878	1,3503	0,2369
Oelerzeug. Gas	1,5763	1,5530	0,4207
Kohlenoxydgas	1,0805	1,0340	0,2884
Wasserdampf	3,1360	1,9600	0,8470

Dafs die spec. Wärme der Körper aus der Zeit ihres Erkaltens gefunden werden müsse, zeigte hauptsächlich Joh. Tob. Mayer [5]), Boeckmann wandte dieses auf seine Versuche über die Wärmeleitung an, seitdem wurde diese Methode auch von andern, namentlich Dülong und Petit, insbesondere aber durch Despretz [6]) in Anwendung gebracht.

Bei der Bestimmung der spec. Wärme der Körper durch Mischung derselben ist wohl zu berücksichtigen, dafs sie nicht chemisch auf einander einwirken, oder sich verdichten, z. B. Alkohol und Wasser. So geben 1 Th. Eis und

---

1) S. Mém. de l'Acad. 1780. p. 355.

2) Bibl. Brit. XXXVIII. 201.

3) Mém. d'Arc. I. 180.

4) Journ. de Phys. LXXVI. p. 155. Ann. de Chim. LXXXV. p. 72. Vergl. J. Mollet im Journ. de Phys. XC. 113. Vergl. LXXXIX. 81.

5) Gesetze und Modif. d. Wärmest. Erlang. 1796.

6) Ann. Chim. et Phys. VI. 184. Vergl. Traité élém. de Phys. p. 160 ff.

4 Th. Schwefels. bei 0° eine Mischung von 100°, aber 4 Th. Eis und 1 Th. Schwefels. bei 0° geben — 21°. Aufserdem aber, wenn die Mischung mit Wasser geschieht, mufs darauf gesehen werden, dafs keine Wärme durch Verdampfung desselben unberechnet verloren werde. Bedient man sich des Eis- oder Wasser-Calorimeters, so sind die hierfür angegebenen Vorsichtsmafsregeln §. 86 zu berücksichtigen. Bei der Methode des Erkaltens kommt die Beschaffenheit der Oberfläche sehr in Betrachtung, weswegen diese durch Ueberziehen mit einem Firnifs oder einer dünnen Haut bei allen gleich gemacht wird. Flüssigkeiten und Pulver werden in Hüllen eingeschlossen, deren Einflufs mit zu berechnen ist. Sind daher die Massen zweier Körper = m und m', der Hülle = p, die Wärmecapacitäten von jenen c und c'- von diesen = c'', so hat man $pc'' + mc : pc'' + m'c' = t : t'$, wonach die Wärmecapacitäten gefunden werden. Die spec. Wärme multiplicirt mit dem spec. Gewichte giebt die relative Wärme, leztere dividirt durch dasselbe die specifische. Aus allen verschiedenen Beobachtungen ergeben sich folgende spec. Wärmecapacitäten der vershiedenen Körper gegen die des Wassers als Einheit angenommen [1]).

Substanzen.	Wärme. specif.	Wärme. relat.	Beobachter.
Kohlensaures Ammon .	1,8510	. . .	Kirwan.
Arterielles Blut . . .	1,0300	. . .	Crawford.
Venöses Blut	0,8928	. . .	ders.
Salpetersäure	0,8440	. . .	Lav. u. La Place
Kali-Lösung	0,7590	1,0216	Kirwan.
Baumöl	0,7100	0,6489	Kirwan.
Salzsäure	0,6800	0,7630	Kirwan.
	0,6000	0,6918	Dalton.
Vitriolöl	0,3500	. . .	Dalton.
	0,3330	. . .	Irvine.
Salpetersäure	0,5760	0,7804	Kirwan.
	0,6300	0,8568	Dalton.
	0,7600	0,8120	
Leinöl	0,5280	0,4965	Kirwan.
Terpentinöl	0,4720	0,4677	Kirwan.
	0,4620	. . .	Despretz.

[1]) Vergl. Klaproth und Wolf chemisches Wörterbuch V. p. 437. Gmelin Handb. der Chem. I. p. 114.

Substanzen.	Wärme. specif.	Wärme. relat.	Beobachter.
Weinessig	0,3870	0,3966	Kirwan.
Destillirter	0,1030	0,1039	Kirwan.
Wässeriges Ammoniak	1,0300	0,9764	Dalton.
Quecksilber	0,0330	0,4486	Kirwan.
Alkohol (0,793)	0,6220	0,4932	Despretz.
Alkohol (0,817)	0,7000	0,5719	Dalton.
Schwefeläther (0,715)	0,5200	0,3718	Despretz.
Schwefeläther (0,760)	0,6600	0,5016	Dalton.
Wallrathöl	0,5200	. . .	Dalton.
Eis	0,9000	0,8100	Kirwan.
Muskelfleisch	0,7400	. . .	Kirwan.
Fichtenholz	0,6500	0,2652	Mayer.
Tannenholz	0,6000	0,2682	Mayer.
Lindenholz	0,6200	0,2430	Mayer.
Pechtanne	0,5800	0,2871	Mayer.
Birnbaum	0,5000	0,3025	Mayer.
Eiche	0,5100	0,2708	Mayer.
Esche	0,5100	0,3218	Mayer.
Reſs	0,5050	. . .	Crawford.
Erbsen	0,4920	. . .	Crawford.
Buche	0,4900	0,3390	Mayer.
Birke	0,4800	0,2918	Mayer.
Ulme	0,4700	0,3036	Mayer.
Pflaumbaum	0,4400	0,3023	Mayer.
Gerste	0,4210	. . .	Crawford.
Steinkohlen	0,2777	. . .	Crawford.
Holzkohle	0,2631	. . .	Crawford.
Kreide	0,2564	. . .	Crawford.
Gebr. Kalk	0,3000	. . .	Dalton.
Kalkhydrat	0,4000	. . .	Dalton.
Kohlensaur. Kalk	0,2700	. . .	Dalton.
Kochsalz	0,2300	. . .	Dalton.
Steingut	0,1950	. . .	Kirwan.
Achat	0,1950	0,5630	Wilke.
Krystall	0,1929	0,6152	Lavoisier.
Glas	0,1870	0,4461	Wilke.
Flintglas	0,1900	0,6410	Dalton.
Schwefel	0,1830	0,3642	Kirwan.
Glockenspeise	0,1100	. . .	Rumford.
Silber	0,0820	0,8201	Wilke.

Substanzen.	Wärme, specif.	relat.	Beobachter.
Gold	0,050	0,9520	Wilke.
Wismuth	0,043	0,4240	Wilke.
Antimon	0,064	0,4289	Crawford.
Zink	0,1000	0,7213	Dalton.
Zinn	0,0700	0,5104	Dalton.
Blei	0,0400	0,4560	Dalton.
Eisen	0,1300	1,0124	Dalton.
Kupfer	0,1110	0,9755	Crawford.
Kupferoxyd	0,2270	. . .	Crawford.
Platin	0,1300	2,9712	Irvine.

Rücksichtlich der relativen Wärmecapacitäten der Gase verdienen hauptsächlich die Untersuchungen von Clement und Desormes[1]) desgleichen von Delaroche und Berard [2]) Aufmerksamkeit und weitere Verfolgung. Nach den ersteren ist die spec. Wärme der atmosph. Luft = 0,3125, die des Wassers = 1 gesetzt; setzt man diese bei 0,762 Met. Barometerdruck = 1000, so ist die des leeren Raumes = 400. Ist ferner die relative Wärme der Luft bei 0,758 Met. Barometerstand = 1, so ist sie bei 0,379 Met. = 0,693 statt 0,5; und bei 0,189 Met. = 0,368 statt = 0,25. Leztere fanden, dafs die relative Wärme der Luft bei 0,7405 M. Barometerhöhe = 1 gesetzt, bei 1,0058 Met. = 1,2396 betrug, wonach also ihre specifische Wärme = $\frac{1,2396}{1,3583}$ = 0,9126 ist, weil das spec. Gewicht sich wie 1,0058 : 0,7405 = 1,3583 verhält. Es führt dieses zu dem Schlusse, dafs die Gasarten mehr Wärme aufnehmen, wenn sie sich weiter ausbreiten. Ferner ergiebt die mitgetheilte Uebersicht der relativen Wärme nach Delaroche und Berard, dafs dieselbe bei verschiedenen Gasen verschieden sey, womit auch die meisten andern Beobachtungen übereinstimmen, z. B. Clement und Desormes, nach denen bei 0,758 Met. Barometerstand die der atmosph. Luft = 1 gesetzt, die des Sauerstoffgas = 0,664; des kohlens. Gases = 1,5 ist. Haykraft [3]) dagegen behauptet, sie sey bei allen Gasen gleich, und ändere sich blofs in Folge der enthaltenen

1) Journ. de Phys. LXXXIX. 331 ff.
2) A. o. a. O.
3) Trans. of the Phil. Soc. of Edinb. X. 195. Gilb. Ann. LXXVI. p. 289.

Dämpfe. Gay-Lüssac [1]) wollte das Nämliche gefunden haben, überzeugte sich aber aus späteren Versuchen vom Gegentheil [2]). Merkwürdig ist ferner, daſs nach Dülong und Petit [3]) die Wärmecapacität der Körper mit ihrer Temperatur zunimmt, und zwar so bedeutend, daſs bei der Genauigkeit der Messungen mit einem Luftthermometer der Grund in Beobachtungsfehlern nicht liegen kann. Namentlich fanden sie beim Eisen die mittlere Wärmecapacität gegen Wasser als Einheit:

Zwischen 0° — 100° = 0,1098 zwischen 200° — 300° = 0,1218
— 100 — 200 = 0,1150 — 300° — 400 = 0,1255

Auſserdem fanden sie die mittlere Capacität

Substanzen	0°—100°	0°—300°
Quecksilber	0,0330	0,0350
Zink . .	0,0927	0,1015
Antimon .	0,0507	0,0549
Silber . .	0,0557	0,0611
Kupfer . .	0,0949	0,1013
Platin . .	0,0335	0,0355
Glas . . .	0,1770	0,1900

Diejenigen Metalle, deren Ausdehnung mit zunehmender Temperatur am schnellsten wächst, sollen die stärkste Zunahme der Wärmecapacität haben, und nach Ure [4]) soll bloſs das Wasser eine Ausnahme machen, dessen Wärmecapacität in höherer Temperatur also abnimmt.

Dalton [5]) stellte den Satz auf, daſs bei expandirten Flüssigkeiten ein constantes Verhältniſs zwischen den Atomgewichten und den specif. Wärmecapacitäten derselben stattfinden müsse, wonach er die lezteren mit den Beobachtungen sehr nahe übereinstimmend berechnete. Wäre dieses richtig, so müſsten nach Haykraft alle Gasarten eine gleiche relative Wärme haben. Wirklich ist dieses Gesetz durch Dülong und Petit selbst bei andern Körpern so nahe bestätigt gefunden, daſs die Gültigkeit desselben einen hohen Grad der Wahrscheinlichkeit für sich hat. Heiſst demnach das Atomgewicht der Körper = a; die spec. Wärme derselben = w, so ist a w = C. eine beständige Gröſse.

[1]) Gilb. Ann. XLV. 321.
[2]) Gilb. Ann. XLVIII. 392. Vergl. Ann. Chim. LXXXI u. LXXXIII.
[3]) Ann. Chim. Phys. VII. 113.
[4]) Schweigg. Journ. XXVIII. 355.
[5]) Murray System of Chimistry. I. 662.

Sie fanden für das Atomgewicht des Sauerstoffes = 1 folgende Gröſsen:

Substanzen	w	a	C
Wismuth	0,0288	13,30	0,3830
Blei . .	0,0293	12,95	0,3794
Gold . .	0,0298	12,43	0,3704
Platin .	0,0314	11,16	0,3740
Zinn . .	0,0514	7,35	0,3779
Silber .	0,0557	6,75	0,3759
Zink . .	0,0927	4,03	0,3736
Tellur .	0,0912	4,03	0,3675
Kupfer . .	0,0949	3,957	0,3755
Nickel .	0,1035	3,69	0,3819
Eisen .	0,1100	3,392	0,3731
Kobald .	0,1489	2,46	0,3685
Schwefel	0,1880	2,011	0,3780

Die hieraus hervorgehende mittlere beständige Zahl ist 0,37524, und es folgt, da $aw = C$ ist, daſs $a = \frac{0{,}37524}{w}$ und $w = \frac{0{,}37524}{a}$ seyn muſs, wonach also beide Gröſsen gefunden werden könnten [1]). Ist dieses Gesetz richtig, so sind die Atomgewichte den specifischen Wärmecapacitäten umgekehrt proportional, welches bloſs aus der Annahme eines eigenen Wärmestoffes erklärlich ist, wonach dann angenommen wird, daſs die Wärmeatmosphären, welche nach J. T. Mayer, Dalton, La Place u. a. §. 15. die Atome der Körper umgeben, diesem gleichfalls umgekehrt proportional sind. Auf allen Fall scheint die spec. Wärmecapacität der Körper zu fordern, daſs man eine ungleiche Anziehung zwischen den Atomen der Körper und dem Wärmestoffe annimmt.

§. 91.

Wird den Körpern Wärme zugeführt, so steigt im umgekehrten Verhältnisse ihrer respectiven Wärmecapacität ihre Temperatur, so lange sie ihren Aggregatzustand nicht ändern. Findet aber dieses leztere statt, gehen sie namentlich aus dem Zustande der Festigkeit in den der Flüssigkeit, oder aus diesem zur

[1]) S. Biot Précis élém. de Phys. II. 690.

Expansion über, so wird ihre Temperatur durch zugeführte Wärme nicht erhöhet, bis der neue Aggregatzustand völlig hergestellt ist. Man nennt mit Recht den hierzu erforderlichen Wärmestoff latent, weil er das Thermometer nicht afficirt. Daſs bei einer umgekehrten Veränderung des Aggregatzustandes der Körper eine gleiche Quantität Wärme wieder frei wird, läſst mit Grunde auf die Materialität des hierbei wirksamen Stoffes schlieſsen, aber es ist noch nicht durch Erfahrung ausgemittelt, ob dieses Gesetz bei allen Körpern Anwendung findet, noch auch ob die zur Veränderung des Aggregatzustandes erforderliche Wärme den respectiven Wärmecapacitäten proportional sey.

Das Gesetz zeigt sich vorzüglich beim Wasser, zum Theil wegen seiner groſsen spec. Wärme. Nach den Untersuchungen von Lavoisier und Laplace [1]), welche mit denen von Black [2]) und von Wilke [3]) nahe übereinstimmen, bedarf das Eis 75° C. um zu Wasser von 0° Temp. zu werden, eine Bestimmung, welche auch durch zahlreiche spätere Erfahrungen bestätigt ist. Wird daher Eis oder Schnee in Alkohol geworfen, und dadurch eine schnelle Schmelzung bewirkt, so erzeugt dieses groſse Kälte [4]), statt daſs Weingeist und Wasser sich mit Ausscheidung von Wärme verbinden. Nimmt man Schnee, welcher tief unter 0° C. erkaltet ist, und diese geringere Wärme durch das Thermometer anzeigt, bringt ihn in einen über den Aufthaupunct erwärmten Raum, und beobachtet das Thermometer, so wird dieses in so kurzer Zeit zu steigen anfangen und fortfahren, als die Menge des Schnees und das Leitungsvermögen desselben gestattet. Die zugeführte Wärme wird demnach vom Schnee aufgenommen und erhöhet dessen Temperatur, ist also sichtbar, frei; und so nennt man alle diejenige Wärme, welche irgend eine, nach der verschiedenen Wärmecapacität der Körper merkliche

---

1) Mém. de l'Acad. 1780. p. 350.
2) Phil. Trans. 1775. p. 124.
3) Schwed. Abh. XXXIV. 39. N. Abh. II.
4) S. Macculloch in Journ. de Phys. XCII. 404.

Wirkung hervorbringt. Hat aber das Thermometer den Aufthaupunct erreicht, so bleibt es auf diesem beständig, wie viele Wärme auch zugeführt werden mag, bis aller Schnee in tropfbares Wasser verwandelt ist; diese Wärme heifst also verborgene, latente, gebundene, weil sie keine Erhöhung der Temperatur hervorbringt, sondern blofs auf die Aenderung der Aggregatform verwandt wird, und diesemnach heifst sie auch Flüssigkeitswärme, weil sie die festen Körper in tropfbar flüssige, und diese in elastische zu verwandeln dient.

Uebrigens ist es nicht blofs das Eis, bei dem sich diese Wärmebindung zeigt, sondern diese findet überall statt, jedoch wegen der spec. Wärmecapacität und dem geringeren Flüssigkeitszustande nicht bei allen Körpern in gleichem Grade. Unter andern bindet das Quecksilber beim Schmelzen 84° C. Wärme nach Hassenfratz [1]), auch fand Döbereiner [2]), dafs die Bestandtheile des leichtflüssigen (Roseschen) Metalles bei 15° R. mit dem 2,6fachen Quecksilber gemischt bis — 8° R. herabsinken, und dafs 688 Gr. Wismuthamalgam (404 Th. Quecks. 284 Th. Wismuth) und 816 Gr. Bleiamalgam (404 Th. Quecks. 412 Blei) bei 16° R. gemischt — 1° R. geben [3]).

Viele noch nicht genau bestimmte Wärme bedürfen, um flüssig zu werden, namentlich die krystallisirten Salze. Wird die Auflösung derselben durch gleichfalls zerfliefsendes Eis bewirkt, so entziehen sie den Umgebungen so viel stärker die Wärme, je weniger die Kürze der Zeit und die geringe Temperatur des umgebenden Medii eine Zuleitung derselben gestattet, und geben daher die Mittel zur Erzeugung künstlicher Kälte. Man kann diese in drei Classen theilen. 1) Die meisten ihres Krystallisationswassers nicht beraubten Salze geben bei der Auflösung in Wasser Kälte, wobei unter gleichen Bedingungen die Gröfse der Wirkung hauptsächlich auch vom richtigen quantitativen Verhältnisse des aufzulösenden Salzes zum Wasser und von der durch feines Pulvern erzeugten schnelleren Auflösung abhängt. Nimmt man Salmiak, Glaubersalz oder Salpeter, jedes für sich 0,6 auf 1 Th. Wasser, so kann man in einer hinlänglichen Menge dieser Mischung das Wasser zum Gefrieren

1) Journ. de l'Ecole polyt. I. 123. Trommsdorff Journ. de Pharm. VIII. 402.

2) Schweigg. Jour. N. F. XII 183.

3) Eben dieses fand Orioli s. Ferrussac Bullet. des Sc. math. phys. et chim. 1825. 117.

bringen, und das gebrauchte Salz nach dem Abdampfen und Krystallisiren stets wieder ohne merklichen Verlust gebrauchen. Wirksamer indefs ist 1 Th. Wasser mit $^5/_{16}$ Salmiak, $^5/_{16}$ Salpeter und $^8/_{16}$ Glaubersalz, jedes für sich fein pulverisirt, wodurch die Temperatur von 10° C. auf — 15° C. herabgebracht werden kann. 2) Mehr leisten die Auflösungen der Salze in verdünnten Säuren, z. B. 1 Th. verdünnte Schwefelsäure (50 Th. Vitriolöl mit 55 Th. Wasser) mit 1,25 Th. Glaubersalz geht von 10° C. auf — 8° C.; 1 Th. verdünnte Salzsäure mit 1,6 Glaubersalz von 10° auf — 17; 1 Th. verdünnte Salpetersäure (2 Th. rauchende Säure 1 Th. Wasser) mit 1,5 Glaubersalz von 10° auf — 16°. 3) Werden zwei ihre Schmelzung gegenseitig befördernde Körper vereinigt, so mufs die Wirkung noch bedeutend stärker seyn, und daher giebt Schnee mit Salzen eine Kälte, welche blofs durch den Gefrierpunct der entstandenen Masse bedingt wird, weswegen verdünnte Säuren mit noch tiefer liegendem Gefrierpuncte stärker wirken, aufser die Vereinigung des Schnees mit salzsaurem Kalke, welche die gröfste Kälte giebt. Es wird indefs bei solchen Versuchen stets schwieriger, das Eindringen der äufseren Wärme zu verhüten, je tiefer die Temperatur herabgeht; man darf daher nicht zu geringe Quantitäten wählen, wenn es um sehr hohe Kältegrade zu thun ist, und mufs für eine umgebende trockne Luft sorgen. Endlich ist die Wirksamkeit des Schnees so viel stärker, je feiner und lockerer er ist, und je feiner die Salze gepulvert sind, womit man ihn mengt. Man bereitet daher eine kaltmachende Mischung zuerst in einem grofsen hölzernen, erdenen oder gläsernen Gefäfse, setzt in dieses ein zweites besser leitendes, als das erste, und in dieses wohl noch ein drittes, worin die tief zu erkaltende Substanz gesetzt wird, damit die zur Erzeugung der künstlichen Kälte bestimmten Substanzen vor ihrer Vereinigung erst selbst erkältet werden. Es giebt unter solchen geeigneten Bedingungen bei 0° äufserer Temperatur 1 Th. Schnee mit 1 Th. Kochsalz — 17° C.; mit 0,6 verdünnter Schwefelsäure (4 Vitriolöl 1 Wasser) — 32° C. und bei — 7° sogar — 51° C. Wird aber krystallisirter, fein gepulverter, salzsaurer Kalk 1,5 mit 1 Th. Schnee gemischt, so läfst sich durch vorausgehendes Erkalten dieser Substanzen die Kälte bis — 60° treiben [1]).

---

[1]) Walker in Phil. Trans. 1787. Gren Journ. III. 458. Vergl. Crell chem. Ann. 1796. Bd. I. Voigt Mag. IV. 512. Scherer J. III. 49.

Bringt man die flüssigen Körper in eine Lage, dafs ein möglichst grofser Theil derselben verdampft, z. B. durch Verbreitung derselben über eine grofse Fläche, Zuführung trockner Luft oder stete Entziehung des gebildeten Dampfes, und vermeidet man zugleich die Zuleitung der Wärme, so lassen sich hierdurch hohe Grade der Kälte hervorbringen [1]. Hieraus erklärt sich zum Theil die Bildung des Eises zu Benares in Ostindien auf der Oberfläche des Wassers, welches vor Sonnenaufgang in flachen Gefäfsen auf Schilfrohr im Freien hingestellt wird [2], die Abkühlung des Trinkwassers, welches in Spanien in porösen thönernen Gefäfsen, den sogenannten Alcarazas [3], dem Luftzuge ausgesetzt wird, das Abkühlen des Weins auf den Schiffen durch Umgeben der Flaschen mit einem nassen Tuche, und Aufhängen derselben in den Luftzug, die Erzengung der Kälte durch nasse Zeuge, durch den Schweifs, durch das Wedeln, indem in Folge desselben die stets neu zugeführte Luft erwärmt, zugleich und hauptsächlich aber aufs Neue mit Wasserdampf gesättigt wird. Durch künstliche Vermehrung der Verdampfung kann ein sehr hoher Grad der Kälte erreicht werden. Hierhin gehört das Verfahren von Leslie und Configliachi [4], das Wasser durch seine eigene Verdunstung zum Gefrieren zu bringen, wenn man ein Gefäfs mit Wasser, oder leichter einen kleinen mit Wasser getränkten Schwamm, über ein Gefäfs mit Schwefelsäure unter eine Campane auf der Luftpumpe bringt, und schnell exantlirt. Die Ursache liegt darin, dafs die Schwefelsäure den Wasserdampf schnell verschluckt, im Vacuo dann stets neuer gebildet wird, welcher den zu seiner Expansion erforderlichen Wärmestoff dem Wasser entzieht. Da nicht blofs das Wasser sondern auch das Eis verdampft, so sinkt das Quecksilber in einer mit Eis überzogenen und im Vacuo über Schwefelsäure aufgehangenen Thermometerkugel bis zum Gefrierpuncte des Quecksilbers herab [5]. Verdampfen die Flüssigkeiten leichter und schneller, so ist die erzeugte

---

Cadet dict. de chim. III. 550. Ann. de chim XXXIX. 290. Gilb. Ann. I. 488. u. a. v. a. O.

[1]) S. Lavoisier in Mém. de l'Acad. 1777 p. 425.

[2]) Phil. Trans. LXV. 252. LXXXIII. 56. 129. Gren Journ. VIII. 409. Vergl. §. 263.

[3]) Fabroni in Journ. de Phys. VI. 228. Gilb. Ann. III. 230.

[4]) Phil. Mag. 1811. Juin. Bibl. Brit. XLVI. 314. Gilb. Ann. XLIII. 341.

[5]) Ann. de Chim. 1811. Mai.

Kälte noch gröſser; daher die empfindliche Kälte, welche Weingeist erzeugt, wenn er auf der Haut bei frischem Luftzuge verdampft. Noch wirksamer in Bindung der Wärme sind die Aetherarten, namentlich der Schwefeläther. Bringt man ein Glas mit Aether, worin ein Thermometer befindlich und welches zugleich mit einer Thierblase verschlossen ist, unter die Luftpumpe, exantlirt und durchsticht dann die Blase, so fängt der Aether an zu sieden und das Thermometer sinkt augenblicklich bedeutend. J. T. Mayer hat daher einen Apparat angegeben, ein Gefäſs mit Wasser, welches allseitig von Schwefeläther umgeben ist, und durch die Verdunstung des lezteren im Vacuo gefriert [1]; ähnliche Apparate haben Grotthuſs [2] und Vogel [3] in Vorschlag gebracht. Ungleich stärker wirkt der Schwelkohlenstoff, wovon ein Tropfen auf Wasser gebracht durch seine Verdunstung eine Hülle Eis um sich erzeugt. Marcet umwickelte eine Thermometerkugel mit Baumwolle oder baumwollenen Zeuge, brachte sie unter die Luftpumpe und erhielt eine Kälte unter dem Gefrierpuncte des Quecksilbers [4]. Noch stärker ist die Wirkung der reinen tropfbar flüssigen schweflichen Säure, deren Siedepunct übrigens bei — 10° C. liegt. Bringt man nach Bussy [5] 20 gr. Quecksilber in einem Uhrglase mit eben so viel dieser Säure übergossen unter die Campane der Luftpumpe, und exantlirt, so gefriert dasselbe augenblicklich. Die Wirkungen sind so viel stärker, je schneller und besser die Luftpumpe exantlirt, jedoch greifen der Schwefelkohlenstoff und noch mehr die schwefliche Säure die Ventile derselben an. Auſserdem wird der Verdampfungsproceſs beschleunigt, wenn die Dämpfe durch einen sie absorbirenden Körper verschluckt werden. Configliachi [6] erzeugte über einem Gefäſse mit Vitriolöl unter der Campane der Luftpumpe bei 15° C. äuſserer Temperatur mit Wasser — 41°,25; mit Schwefeläther — 51°; mit Alkohol — 37,5; mit Salpeternaphtha — 31,25; mit Salznaphtha — 30° C. Manche lockere Körper, als Kleien, Hafermehl, ausgeglühete und gepulverte Thon-

1) Gren Journ. II. 358.
2) Allg. Nord. Ann. II. 6.
3) Bullet. de Pharm. 1811. Aout.
4) Phil. Trans. 1813. Gilb. Ann. XLVIII. 167.
5) Schweigg. N. J. XI. 453.
6) A. a. O.

erde u. s. w. saugen gleichfalls die Wasserdämpfe begierig ein, wirken aber sämtlich schwächer als Schwefelsäure.

Wollaston [1]) hat auf das Princip der Kälteerzeugung durch Verdampfung seinen *Kryophorus* gegründet, einen Apparat, welcher die Kälte in die Entfernung hinträgt. Dieser besteht aus zwei Kugeln, welche durch eine 18 bis 24 Z. lange und 2 Lin. weite Glasröhre verbunden, nahe zur Hälfte mit Wasser gefüllt und durch das Sieden von diesem luftleer gemacht sind. Senkt man die eine derselben in eine kaltmachende Mischung, so werden die Dämpfe in dieser condensirt, und in das hierdurch erzeugte Vacuum treten die Dämpfe aus der andern Kugel, welche das Wasser derselben durch Entziehung des zu ihrer Expansion erforderlichen Wärmestoffes zum Gefrieren bringen. Daniell's Hygrometer und August's Psychrometer §. 96 sind auf das nämliche Princip gegründet.

Beim Festwerden der Körper wird Wärme frei u. z. den Beobachtungen nach so viel, als zum Flüssigmachen derselben erforderlich ist, z. B. 2 Th. an der Luft zerfallenes Glaubersalz und 1 Th. Wasser erzeugen Wärme durch Bindung des Krystallisationswassers, eben wie ausgeglüheter und gepulverter salzsaurer Kalk. Das Eis entsteht nur allmälig und schützt im Entstehen die Bäume und andere Sachen gegen das Erfrieren. Krystallisirendes Glaubersalz entbindet Wärme, desgleichen gestehender Phosphor und Talg nach Böckmann [2]), Wachs, Schwefel und einige Metalle nach Irvine [3]).

Die Phänomene lassen sich nicht füglich nach Irvine und Dalton bloſs aus der respectiven Wärmecapacität erklären, viel leichter aus der zur Erzeugung des Flüssigkeitszustandes und der Expansion erforderlichen Wärme.

§. 92.

Das Verhalten der Körper ist sehr verschieden hinsichtlich derjenigen Temperatur, bei welcher sie flüssig werden, indem Substanzen, welche sich in mehreren andern Eigenschaften gleichartig zeigen, Wärme von den höchsten bis zu den niedrigsten Graden zum

[1]) Phil. Trans. 1813. p 71. Ann. of Phil. II. 130. Gilb. Ann. XLVIII. 174. LII. 274.

[2]) Ueber Wärmeleitung p. 70.

[3]) S. Gilbert Ann. XXXVIII. 305.

Schmelzen erfordern, und einige bis jetzt nicht flüssig, andere nicht fest geworden sind. Als Regel läfst sich annehmen, dafs Mischungen leichter in Flufs kommen als einfache Körper. Manche Körper werden früher, als sie zur Flüssigkeit übergehen, weich, und lassen sich zusammenkneten, andere werden in ihre Bestandtheile aufgelöset; einige dehnen sich beim Festwerden aus, andere ziehen sich zusammen; als grofse Seltenheit und der allgemeinen Regel widerstreitend ist es zu betrachten, dafs einige Substanzen ohne Veränderung ihrer Mischung in höheren Temperaturen minder flüssig sind, oder dafs insbesondere der Schwefel bei zunehmender Wärme erst flüssig wird, dann gesteht und abermals flüssig wird.

Ehemals unterschied man schmelzbare und unschmelzbare Körper, weil eine gröfsere Zahl, als die reinen Erden, einige Metalle, Graphit und Kohlenstoff allen Graden der Hitze widerstanden. Viele von diesen sind jezt im Knallgasgebläse geschmolzen, und es würde diesem keiner widerstehen, wenn sie nicht früher verbrennten, als Kohle, Graphit u. s. w. Mit Recht theilt man indefs die Körper in strengflüssige und leichtflüssige.

Jeder tropfbarflüssige Körper ist als geschmolzen, d. h. in Wärmestoff aufgelöset zu betrachten, und für die sehr leichtflüssigen, hauptsächlich für diejenigen, welche unter dem Eispuncte des Thermometers noch flüssig sind, kann der Punct, wo sie gefrieren, auch der Schmelzpunct genannt werden. Schwefelkohlenstoff und rectificirtes Petroleum sind bis jezt noch nicht zum Gefrieren gebracht; von lezterem liegt der aus dem Gesetze der Ausdehnung gefundene Schmelzpunct unter — 79° C. § 84. Absoluter Alkohol wird als am wenigsten gefrierbar betrachtet, jedoch will Hutton [1]) solchen von 0,790 spec. Gew. bei — 79° C. zum Gefrieren gebracht haben, welches nicht unmöglich ist, da bei Parry's Aufenthalte auf der Insel Melville der stärkste Franzbrandtewein in natürlicher Kälte zu einer syrupartigen Masse gestand, wie auch Hutton erhalten haben will, da ferner der Weingeist in Folge seiner starken Zu-

[1]) Ann. of Phil. I. 221. Bib. Brit. LIII. 3. Gilb. Ann. XLVI. 119.

sammenziehung in hoher Kälte sehr dickflüssig wird, wovon man sich schon überzeugen kann, wenn man sogenannten rectificirten nur bis — 25° C. erkältet, und da endlich bei dem von mir untersuchten (§. 84) der Punct der gröfsten Dichtigkeit nicht tiefer als bei — 56°,6 fiel.

Die Bestimmungen sehr tief liegender Gefrierpuncte der verschiedenen Flüssigkeiten sind wegen der Schwierigkeit der Messungen mit Thermometern sehr unsicher, aber noch mehr ist dieses der Fall bei den sehr strengflüssigen Körpern, da wir eigentlich noch kein anerkannt richtiges Pyrometer besitzen, §. 84, und man darf daher mit Recht sagen, dafs wir die Schmelzpuncte der strengflüssigen Körper noch gar nicht kennen. Am wenigsten Vertrauen verdienen die mit Wedgwood's Pyrometer erhaltenen Bestimmungen, ungleich mehr die mit Daniell's. Nach Chaptal [1], Guyton Morveau [2], Dalton [3] und Daniell [4] giebt es folgende Hitze- und Schmelzpuncte, von denen die ersteren mit Wedgwood's, und die lezteren mit Daniell's Pyrometer erhalten sind.

Substanzen.	Dalton. Wedgw.	Chaptal. Cent.	Guyton. Wedgw.	Guyton. Cent.
Scheel	170	12821	—	—
Platin	170	12821	—	—
Mangan	160	12100	160	5825
Eisen	158	11956	175	6346
Gufseisen	—	—	130	4783
Nickel	150	11380	—	—
Kobalt	130	9910	—	—
Hitze d. Esse	125	9580	—	—
Fayance-Ofen . .	124	9508	155	5642
Gold	32	2884	32	1381
Flintglaskühlofen .	29	2668	—	—
Silber	28	2596	22	1034
Kupfer	27	2524	27	1207
Messing	21	2092	—	—
Diamant brennt . .	14	1588	—	—

[1]) Chimie appliquée aux arts II. 179.

[2]) Ann. Chim. XC. 236.

[3]) N. Syst. I. 54.

[4]) Quarterly Journ. of Sc. cet. XXII. 309. Bibl. univ. XVIII. 231.

Daniell fand mit seinem Pyrometer §. 83. folgende Schmelzpuncte:

Substanzen.	Cent.	Substanzen.	Cent.
Quecksilber siedet . .	340	Reines Silber schmelzt	1223
Zinn schmelzt . .	227	Kupfer	1398
Wismuth	239	Gold	1421
Blei	321	Gufseisen	1933
Zink	342	Rothglühhitze bei Tage	538
Messing	1021	Steinkohlenfeuer .	616

Sonstige Bestimmungen der Schmelzpuncte sind in Graden der hunderttheil. Skale:

Bernstein	288	Milch	—1
Campfer	175	Essig	2
Schwefel	109	Seewasser	5
Jod	107	Burgunder	7
Natrium	90	Blausäure	15
Schwarzes Pech . . .	77	Vitriolöl	25
Weifses Wachs . . .	68	Essigsäure	30
Gelbes Wachs . . .	61	Quecksilber	39
Kalium	58	Schwefelsäure (1,836 sp. G.)	39
Hammelstalg	51	Rauchende Salpet. s. . .	40
Phosphor	46	Schwefeläther?	44
Wallrath	42	Ammoniak?	50
Butter	30	Petroleum	71
Wasser	0	Weingeist?	79

Dafs gemischte Substanzen leichter schmelzen als einfache Stoffe ist zwar nicht allgemeines Gesetz, aber in vielen Fällen sehr auffallend. Es zeigt sich dieses insbesondere an der bekannten leicht schmelzenden Metallmischung, dem durch d'Arcy angegebenen [1]), oder auch nach Rose sogenannten Rose'schen Metalle, welches nach Döbereiner [2]) am besten aus 118 Th. Zinn, 207 Th. Blei und 284 Th. Wismuth gemacht wird. Alle diese einzelne Metalle schmelzen bedeutend über der Siedehitze des Wassers, ihre Verbindung aber in siedendem Wasser. Eine ähnliche Verbindung ist das aus Wismuth und Zinn bestehende Schnellloth der Klempner. Das unschmelzbare Platin schmelzt

---

[1]) Schon Newton soll eine Verbindung von 2,5 Unz. Blei und 1,5 Unz. Zinn als leichtflüssig angegeben haben. S. Tausend Exper. aus d. Engl. von Kühn. 1822. p. 67.

[2]) Schweigg. Journ. N. F. XII 182.

leicht, bei anfangender Glühhitze, wenn etwas Wismuth, Blei u. a. m. damit verbunden oder nur in Berührung ist. Dahin gehören namentlich die zahlreichen Schmelzmittel der Erze oder die sogenannten Zuschläge, als Flufsspath, Gyps, Borax u. a.

Zu den Körpern, welche vor dem Schmelzen weich werden, gehört aufser den bekannten Harzen auch namentlich das Eisen, welches beim Processe des Frischen's, Schweifsen's und überhaupt des Schmieden's zusammengeknetet und geformt wird. Eben so wird auch das Platin weich, und läfst sich daher gleichfalls schweifsen. Solcher Körper, welche vor dem Schmelzen zerlegt werden, und daher nicht eigentlich schmelzen, giebt es sehr viele, als namentlich vegetabilische Substanzen und manche aus dem Thierreiche, als Haare, Klauen u. s. w.

Wenn die Körper beim Uebergange in den Zustand der Festigkeit sich zusammenziehen, so ist dieses mit dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung durch Wärme übereinstimmend, allein es ist schon oben §. 82 erwähnt, dafs einige Körper hiervon eine Ausnahme machen, auch ist dort die unverkennbare Ursache angegeben, welche diese Abweichung von der Regel bewirkt. Unter allen Substanzen hat das Wasser allezeit die gröfste Aufmerksamkeit erregt, als es sich zeigte, dafs es vor dem Festwerden (bei 3°,78 C.) den Punct der gröfsten Dichtigkeit erhalte. Dazu kommt, dafs ganz reines, völlig ruhig stehendes Wasser tief unter 0° C., ja den Beobachtungen zu Folge bis — 12° C. erkalten kann, ohne zu gefrieren, dann aber bei der Bewegung ganz in lockeres Eis verwandelt wird [1]). Bei unreinem Wasser findet dieses nicht statt; Seewasser soll nach Nairne [2]) schon bei — 2° C. mit Ausscheidung von etwas Salz gefrieren, allein Parrot [3]) setzt richtiger diesen Punct auf — 5° C., und eben dahin fällt der Punct seiner gröfsten Dichtigkeit, §. 85. Wegen der Ausdehnung des gefrierenden Wassers ist das Eis spec. leichter als das Wasser, u. z. nach Scoresby [4]) gegen Seewasser im Verhältnifs von 9 : 10; gegen Flufswasser von 14 : 15, das mittlere specif. Gewicht desselben aber ist = 0,937 wenn es rein von Blasen gewogen wird.

---

[1]) Dalton in Gilb. Ann. XIV. p. 296.

[2]) Phil. Trans. LXVI. p. 249.

[3]) Gilb. Ann. LVII. 144.

[4]) Mem. of the Wernerian Soc. of Edinb. II. 1.

Die Ausdehnung des Eises geschieht mit einer ganz unglaublichen Kraftäufserung, worüber viele Beobachtungen vorhanden sind. Unter andern zersprengte Wahl [1]) durch dieses Mittel alte eiserne Bomben, welche mit starken Hämmern nicht zertrümmert werden konnten. Die bei — 21° C. ausgeübte Gewalt des Eises betrug 1,42 ℔ auf eine Cubiklinie desselben [2]), und da sie mit zunehmender Kälte wächst, so gehört dieses Mittel unter die stärksten mechanischen. Ueber die Ursache dieser Abweichung von bekannten Gesetzen giebt es hauptsächlich zwei Meinungen. Homberg [3]) suchte sie in der Luft, welche beim Gefrieren frei wird, und also einen Druck von 800 Atmosphären ausüben müfste, welche Ansicht Parrot [4]) theilt. Allein theils ergiebt die Berechnung, dafs eine Kraft von 800 Atmosphären zur Erklärung des Phänomens nicht genügt, theils haben einige Versuche von mir gezeigt, dafs stark ausgekochtes Wasser in dicken luftleeren Gläsern diese noch sicherer zersprengt, als lufterfülltes die offenen [5]). Dalton [6]) dagegen leitet die Ursache von der veränderten Lage der Elemente des Wassers ab, welche im flüssigen so gelagert sind, dafs ihre Axen rechte Winkel bilden, im festen aber solche von 60 Graden, wie die Krystallform des Eises zeigt. Seine Berechnung stimmt mit der Gröfse der Ausdehnung sehr genau überein. Uebrigens wird das Licht durch das Eis, als vollkommen krystallisirten Körper polarisirt, aber nicht durch das bis 0° C. erkaltete Wasser.

Es giebt einige Lösungen von Kalkhaltigen Salzen, welche in höheren Temperaturen gerinnen und in niederen wieder flüssig werden [7]), und es läfst sich dieses aus den mit den Temperaturen wechselnden Affinitätsgesetzen der einzelnen Bestandtheile dieser zusammengesetzten Substanzen unter einander und gegen das Wasser wohl hypothetisch erklären, das Verhalten des Schwefels aber, als einfachen Körpers [8]) ist höchst merkwürdig. Dafs derselbe erst flüs-

---

1) Voigt Mag. VIII. 74.
2) S. Meine Abh. über d. Schiefspulver p. 97.
3) Mém. de l'Acad. X. 176.
4) Theor. Phys. II. 65.
5) S. über d. Schiefspulver a. a. O.
6) Neues System I. 152.
7) S. u. a. Osann in Gilb. Ann. LXIX. 283.
8) Osann a. a. O. will ihn deswegen für zusammengesetzt halten, wozu aber die angegebenen Gründe nicht genügen.

sig wird, dann bei gröfserer Hitze wieder zähe, läfst sich leicht zeigen, wenn man eine Quantität desselben in einer unten verschlossenen und oben lose verkorkten Röhre über Kohlen schmelzt und dann der Hitze noch weiter auszusetzen fortfährt; schwieriger ist es, ihn dann nach dem Gestehen durch vermehrte Hitze nochmals flüssig zu machen [1]). Nach Dümas [2]) krystallisirt derselbe bei 226° bis 228° C., bleibt flüssig bei 230° bis 284 C., gesteht wieder bei 320°, noch merklicher bei 428° bis 572° C. und wird dann wieder flüssig, aber weniger als bei 230° C.

§. 93.

Der Wärmestoff verbindet sich mit einer grofsen Menge von Körpern zu expansibelen Flüssigkeiten, welche den Gasarten zwar in vieler Hinsicht ähnlich, zugleich aber in nicht unwesentlichen Eigenschaften davon verschieden sind. Bei den meisten Körpern tritt die Verdampfung hauptsächlich erst dann ein, wenn sie tropfbar flüssig geworden sind, und in einem weit höheren Grade, wenn die Elasticität der von ihnen gebildeten Dämpfe denjenigen Druck überwindet, welchen die auf den tropfbaren Flüssigkeiten ruhende Atmosphäre ausübt, und man nennt die Temperatur der Flüssigkeiten, wobei dieses eintritt, den Siedepunct. Bei den Dämpfen kommt hauptsächlich in Betrachtung die zu ihrer Bildung erforderliche, und daher latente Wärme, ihre Elasticität und endlich ihre Dichtigkeit.

Man unterscheidet Luft, Gas, Dampf und Dunst, welche vier Ausdrücke ähnliche Substanzen bezeichnen, ohne dafs der Sprachgebrauch allgemein genau fixirt ist. Einige wollen keinen Unterschied zwischen Gas und Dampf gestatten, weil beide elastisch flüssig und zugleich durch Entziehung der Wärme und mechanischen Druck in tropfbar flüssiger Gestalt darstellbar sind §. 15. Allein es ist dennoch ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden nicht zu verkennen, indem die Dichtigkeit und Elasticität der Gase bei vielen überhaupt, bei anderen bis zu einer gewissen Grenze eine Function des äufseren Druckes, weniger der Wärme

---

[1]) S. Schweigg. Journ. V. 43. VIII. 337.

[2]) Ann. Chim. et Phys. XXXVI. 83.

ist, welche sie blos ausdehnt, wie alle andere Körper, nur in einem höheren Grade; bei den Dämpfen aber sind beide bloss Functionen der Wärme, obgleich eine bedeutende Temperaturverminderung sowohl manche Gasarten als die Dämpfe in tropfbare Flüssigkeiten verwandelt. Am einfachsten läfst sich dem Sprachgebrauche gemäfs der Unterschied auf folgende Weise festsetzen. Unter Luft möge, wegen des langen Besitzes dieses Namens, diejenige individuelle Mischung verstanden werden, welche unsere Atmosphäre bildet §. 78; Gase heifsen dann die; nigen elastischen (expansibelen) Flüssigkeiten, auf welche das (ohnehin überall nicht absolut gültige §. 52) *Mariottesche Gesetz* in einem gewissen Umfange Anwendung findet; Dämpfe sind diejenigen elastischen Flüssigkeiten, deren Dichtigkeit und Elasticität blofs Functionen der Wärme sind; Dünste endlich entstehen aus den Dämpfen, wenn sie aus dem Zustande der Expansion in den der Tropfbarkeit in kleinen Partikelchen übergehen.

Dämpfe werden auch von festen Körpern, namentlich dem Eise, gebildet, und bei manchen Substanzen, welche an der Luft, oder noch mehr im leeren Raume, an Volumen abnehmen, als Kampfer u. a., mufs man gleichfalls annehmen, dafs sie in eine Art Dampf verwandelt werden. Ob sich auch vom Kupfer und andern Metallen, welche gerieben einen kenntlichen Geruch verbreiten, gewisse Theile dampfartig erheben, bleibt deswegen ungewifs, weil wir keine Abnahme des Gewichtes an ihnen wahrnehmen, und dieses nur mit einer aufserordentlichen Feinheit der erzeugten Dämpfe verträglich seyn könnte. Weit mehr, als bei festen Körpern, tritt die Verdampfung ein bei tropfbar flüssigen, und sie sind so viel geneigter zum Verdampfen, bei je niedrigerer Temperatur sie flüssig bleiben, wobei jedoch noch andere Bedingungen, namentlich die Leichtigkeit ihrer Atomgewichte, in Betrachtung kommen. Die Dämpfe werden ferner sowohl im leeren als im Luft- und Dampf-erfüllten Raume gebildet, jedoch können sie sich in lezterem ungleich weniger frei ausbreiten, und entstehen daher langsamer. Das Quecksilber verdampft nicht blofs im luftleeren Raume, weswegen sich im torricellischen Vacuo hauptsächlich in weiten Röhren und beim Einflusse des Lichtes eine Menge Kügelchen anzusetzen pflegen, sondern auch im Lufterfüllten bei mittlerer Temperatur, wie **Faraday** [1])

[1]) Schweigg. Journ. XXXII. 482.

an Goldblättchen nachwies, welche er über demselben aufhing und nach einiger Zeit zerfressen fand. Bei zunehmender Wärme steigt die Verdampfung der flüssigen Körper, und erreicht bei einigen einen gewissen Grad, welchen man das Sieden nennt, wenn die Elasticität ihrer Dämpfe diejenige der auf den tropfbaren Flüssigkeiten ruhenden elastischen Flüssigkeiten überwindet, und sie daher frei entweichen. Dafs die meisten, wo nicht alle, Körper Dämpfe aus sich entwickeln, wird aus vielen Erscheinungen wahrscheinlich, auch scheint die Dichtigkeit derselben der Temperatur des Schmelzpunctes der Körper umgekehrt proportional zu seyn [1]), ob sie aber, auch wenn sie schmelzbar sind, einen Siedepunct haben, ist zweifelhaft, und viele Metalle namentlich werden in eine Art Rauch aufgelöset, weil sie sich mit dem Sauerstoffe der atmosphärischen Luft verbinden. Vermuthlich ist eine Hitze, welche ein eigentliches Sieden solcher strengflüssigen Körper zu erzeugen vermögte, darzustellen unmöglich. Bei einigen Flüssigkeiten, namentlich den fetten Oelen, findet kein eigentliches Sieden statt, vielmehr dampfen oder rauchen sie stark, indem sie einen dicken, widerlich riechenden Dunst ausstofsen, und dadurch eine Entmischung erleiden, welche ihre Dickflüssigkeit zunehmend vermehrt, und den Siedepunct stets höher hinaufrückt [2]). Der Campher, wenn er in Glasröhren geschmolzen und dann weiter erhitzt wird, wallet sehr stark, wie eine lebhaft siedende Flüssigkeit, jedoch ohne Entbindung eines merklich elastischen Dampfes, welcher erst in höherer Temperatur zum Vorschein kommt [3]).

Da das Sieden der Flüssigkeiten erst dann anfängt, wenn die Elasticität des gebildeten Dampfes eben so stark ist, als die der elastischen Flüssigkeit, welche auf der erhitzten tropfbaren ruhet, jene Elasticität aber mit der Temperatur wächst und bei den einzelnen Flüssigkeiten verschieden ist, so mufs der Siedepunct so viel höher hinaufrücken, je gröfser dieser Druck gegen die Oberfläche der erhitzten Flüssigkeit ist. Denkt man sich also, um den bekannten Procefs des Siedens genauer einzusehen, eine gegebene Flüssigkeit, z. B. das Wasser, in einem leeren Raume eingeschlossen, so werden sogleich Dämpfe von derselben aufsteigen, und

[1]) Saussure in Gilb. Ann. XXIX. 127. Lampadius in Gehlen's Journ. VII. 716.

[2]) Pl. Heinrich Phosphorescenz d. Körper. I. p. 188. Gilb. Ann. XII. 102.

[3]) S. Meine physikal. Abh. p. 438.

den Raum in grofser Geschwindigkeit anfüllen Indem dann die in der Flüssigkeit sich bildenden Dämpfe, wenn sie aus derselben schnell aufsteigen, und dadurch die Flüssigkeit in das bekannte Wallen versetzen sollten, nicht blofs diesen Druck, sondern auch noch obendrein den der zu hebenden Flüssigkeits-Schichte überwinden müfsten, so begreift man leicht, dafs die Bedingung des Siedens ebendadurch wieder aufgehoben wird, bis die Wandungen des Gefäfses oder sonstige Mittel den aufgestiegenen Dampf abkühlen, verdichten und dem neugebildeten Raum geben. Wird daher vom Siedepuncte, oder von der Temperatur geredet, bei welcher eine gegebene Flüssigkeit siedet, so mufs zugleich der Druck auf ihre Oberfläche bestimmt seyn. In der Regel nimmt man an, dafs die atmosphärische Luft beim mittleren Barometerstande im Spiegel des Meeres diesen Druck ausübe, welcher in Frankreich = 0,76 Met.; in England = 29 engl. Z.; in Deutschland = 28 par. Zolle angenommen wird, ohne den nicht grofsen Unterschied dieser drei Bestimmungen genau zu beachten. Wird also eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, in einem offenen Gefäfse erhitzt, so verbindet sich der durch die Wandungen des Gefäfses dringende Wärmestoff mit einem Theile des zunächst liegenden Wassers, und verwandelt dieses in Dampf, welcher aber sogleich seine Wärme an das berührende Wasser abgiebt, dadurch condensirt wird, einen leeren Raum erzeugt, und indem das Wasser diesen wieder ausfüllt, das singende und stark zischende, zuweilen heftig klopfende, Getöse veranlafst, welches wahrgenommen wird, wenn gläserne oder metallene Gefäfse mit Wasser über Kohlen erhitzt werden, oder wenn der Dampf des siedenden Wassers in kälteres durch ein Rohr geleitet wird [1]).

Umgekehrt mufs man aber auch aus der bekannten Elasticität der Dämpfe einer gegebenen Flüssigkeit und der Temperatur ihrer freien Entwickelung (ihres Sieden's) auf den Druck der über ihr ruhenden Luft schliefsen können, wobei indefs wohl zu berücksichtigen ist, dafs auf die Temperatur des Siedepunctes Nebenbedingungen einwirken, weswegen auch die Bestimmung dieses Punctes bei den Thermometern mit grofsen Schwierigkeiten verbunden ist. Streuet man kleine Körperchen, als Eisenfeilicht u. dgl. in das Wasser, so können die Dämpfe nach Gay-Lüssac [2])

---

1) Gilb. Ann. XXII. 397.

2) Ann. de Chim. LXXXII. 174. Vergl. Ann. Chim. Phys. VII. 307.

leicht und ungehindert aufsteigen, und der Siedepunct liegt so tief, als er nach dem jedesmaligen Luftdrucke liegen kann. Berührt das Thermometer den Boden des Gefäfses, so steht es höher als in der Mitte der Flüssigkeit, ein blankes Gefäfs giebt einen niedrigeren Siedepunct als eins mit rauher Oberfläche u. dgl. [1]). Dennoch hat man oft versucht, vom Siedepuncte des Wassers in ungleichen Höhen über der Meeresfläche auf die Stärke des Luftdruckes zu schliefsen, hieraus die Barometerhöhe und also auch die Berghöhe zu bestimmen [2]). Eigene Apparate hierzu haben Fahrenheit [3]), Cavallo [4]), Achard [5]) und neuerdings Wollaston [6]) angegeben, welcher leztere auch Tabellen hierfür berechnet hat. Allein abgesehen von den angegebenen Hindernissen, welche der Anwendung dieses Apparates im Wege stehen, ändern sich die Temperaturen der Siedepuncte zu wenig für beträchtliche Aenderungen des Luftdruckes; man mufs daher Thermometer haben, deren Skalentheile sehr grofs sind, und dann hindern die anderweitigen Bedingungen das Quecksilber, dafs es nur einen festen Stand bleibend erhalten könnte. Uebrigens läfst sish das Sieden im luftleeren oder luftverdünnten Raume leicht anschaulich machen, wenn man ein Glas mit Wasser von etwa 36° bis 48° C. Wärme unter die Campane der Luftpumpe setzt, und ein wirkliches Sieden desselben wahrnimmt. Noch interessanter sind die durch anhaltendes Sieden luftleer gemachten, mit Wasser halb gefüllten Röhren mit einer Kugel, die sogenannten Wasserhämmer, in denen sich, wenn sie gut sind, durch die Wärme der Hand Dämpfe entwickeln, und mit einem hörbaren Getöse wieder niederschlagen. Sind Fig. 99] sie mit Weingeist gefüllt, und die weiteren Räume a; a an ihnen durch enge Röhren α; α unterbrochen, so hindert die Wärme der Hand, womit man sie bei β oder γ anfafst, die in α stets siedende Flüssigkeit am Herabfliefsen. Fig. 100] Auch der sogenannte Pulshammer wird an einer der

---

1) S. Gmelin's und meine Versuche in Gilb. Ann. LVII. 211. Bibl. univ. VII. 401. Achard Mém. de Berl. 1785. p. 2. u. Ann. de Chim. X. 49.

2) Vergl. de Lüc über die Atmosph. II. 857.

3) Phil. Trans. N. 385.

4) Ebend. LXXI. 524.

5) Samml. physikal. u. chem. Abh. Berl. 1784. N. 17. Journ. de Phys. XXV. 287.

6) Phil. Trans. 1817. p. 183. 1820. II. p. 295.

beiden Kugeln α oder β mit der Hand erwärmt, und dann steigt die Flüssigkeit in die andere, wobei man sich von der grofsen Wärmecapacität der Dämpfe durch die Kälte überzeugt, welche man im Augenblicke des Siedens in der Hand empfindet.

Nimmt man 28 Z. Barometerhöhe an, so sieden folgende Flüssigkeiten [1]) bei den angegebenen Graden der hundertthеil. Skale

Schwefliche Säure	— 10°	Wasser . . .	100
Salzäther	12	Terpentinöl .	157
Salpeternaphtha . .	21	Iod	180
Blausäure	26,5	Campfer . . .	284
Schwefeläther . . .	35,66	Vitriolöl . . .	287
Schwefelkohlenstoff .	46,6	Phosphor . .	288
Alhohol	78,41	Schwefel . .	293
Petroleum	85,5	Quecksilber .	356

Merkwürdig und noch nicht völlig erklärt ist der Umstand, dafs Flüssigkeiten in einer Kugel mit einem engen Rohre bis weit über ihren Siedepunct erhitzt werden können. Diese schon von andern gemachte Beobachtung habe ich insbesondere beim Schwefeläther bestätigt gefunden, welchen es mir gelungen ist. auf diese Weise bis 40°, ja bis nahe 50° C zu erhitzen, worauf dann kein Sieden erfolgte, sondern die gesammte Masse in einem anhaltenden Strahle aus dem Apparate geschleudert wurde. Ist eine solche Kugel nur halb gefüllt, so tritt das Sieden bei der gewöhnlichen Temperatur ein. Die Ursache scheint mir darin zu liegen, dafs die Dämpfe in diesem Falle die Masse der Flüssigkeit mit Ueberwindung ihrer Adhäsion und des Luftdruckes trennen müfsten

So wie der Siedepunct der Flüssigkeiten tiefer herabgeht, wenn der Druck einer elastischen Flüssigkeit auf ihre Oberfläche abnimmt, wird er umgekehrt höher hinaufrücken, wenn lezterer wächst, und es lassen sich daher alle Flüssigkeiten in hinlänglich starken Gefäfsen bis zu jeder Temperatur erhitzen, selbst bis zum Glühen. Weil indefs die Dichtigkeit der Dämpfe den Temperaturen gleichfalls pro-

[1]) Den merkwürdig tief liegenden Siedepunct hat die wasserfreie schwefliche Säure von 1,45 spec. Gew. nach Bussy in Schweigg. Journ. N. F. II. 452. Der Siedepunct des Quecksilbers ist nach der Bestimmung von Pl. Heinrich in Schweigg. Journ. I. 214. Crichton in Phil. Trans. 1818. II. p. 376 setzt ihn bei 346,6, Dülong und Petit in Ann. de Chim. et Phys. VII. 120 bei 350° des Luftherm. und 356° des Quecksilberthermometers.

portional wächst, so gehen die stets mehr verdichteten Dämpfe und die durch Wärme stark ausgedehnten Flüssigkeiten zulezt in einander über, ohne dafs die Wärmegrade, bei denen dieses für jede Flüssigkeit statt finden würde, bis jetzt genau bekannt sind. Cagniard de la Tour [1]) will zwar gefunden haben, dafs Schwefeläther bei einer Ausdehnung von weniger als dem Doppelten seines Volumens unter einem Drucke von 37 bis 38 Atmosphären und bei 200° C.; Alkohol bei einer Ausdehnung von weniger als dem Dreifachen seines Volumens unter einem Drucke von 119 Atmosphären und bei 259° C.; Wasser bei einer Ausdehnung von nahe dem Vierfachen seines Volumens und etwa 342° C. ganz in Dampf verwandelt werde, allein es ist fraglich, ob die Glasröhren, in welchen er diese Flüssigkeiten eingeschlossen hatte, einem solchen Drucke widerstehen können, und eine genaue Messung bei solchen Versuchen möglich ist.

Soll eine Flüssigkeit im Sieden erhalten werden, so mufs ihr stets neue Wärme zuströmen, um den Verlust durch den gebildeten Dampf zu ersetzen, und da lezterer in so viel gröfserer Menge gebildet wird, je mehr Wärme zuströmt, so folgt hieraus die Fixität des Siedepunctes. Dabei mufs wegen des unvermeidlichen Verlustes die Wärmequelle eine höhere Temperatur haben, als worauf die Flüssigkeit erhoben werden soll. Man kann daher gleichbleibende abnehmende Temperaturen erhalten, wenn man mehrere Gefäfse mit Flüssigkeiten in einander setzt, und blofs dem äufsersten Wärme zuführt, wie dieses durch Borrichius [2]), später durch Cigna [3]), zulezt durch v. Lamperti [4]) versucht ist. Lezterer sezte 4 Gefäfse mit Wasser in einander, und fand die Temperaturen 80°; 74°; 69°; 66° R. Enthielt das äufserste gesättigte Salzsolution, so waren die Temperaturen 82°,5; 76°; 70°; 67° R. Hierauf beruhet das sogenannte Marienbad, oder das Erhitzen von Körpern in Gefäfsen, welche in siedendes Wasser gestellt werden.

Dafs bei der Erzeugung von Dampf Wärme latent werde, und als solche daher in demselben enthalten seyn müsse, zeigte zuerst Dr. Black [5]), und bestimmte sie zu 445° C.

[1]) Ann. Chim. et Phys. XXI. 178.
[2]) Acta Med. et Phil. Hafniensia. 1771 u. 72. p. 139.
[3]) Journ. de Phys. III. 109.
[4]) Hermbstädt Büllet. X. Ht. 3.
[5]) Robison Mech. Phil. II. 4 u. 108.

Nachher ist dieser Gegenstand von vielen Physikern untersucht, unter denen Watt [1], G. G. Schmidt [2], Rumford [3], Ure [4], Desprets [5], Southern [6], Clement und Desormes [7] und Sharpe [8] vorzugsweise genannt zu werden verdienen. Aus ihren Untersuchungen folgt mit kaum zu bezweifelnder Gewifsheit, dafs die Summe der latenten und freien Wärme des Wasserdampfes (und so wahrscheinlich aller übrigen) bei jeder Temperatur die nämliche, und im Mittel aus den vielen Versuchen = 640° C. ist, wonach also die latente dem Unterschiede dieser Summe und der freien gleich seyn mufs. Es folgt hieraus, dafs in einer Temperatur über 640° C. kein eigentlicher Wasserdampf mehr existiren kann, sondern dafs bei dieser der Dampf des Wassers und lezteres selbst, durch Wärme verhältnifsmäfsig ausgedehnt, gleiche Dichtigkeit haben müfsten. Die latente Wärme des Dampfes der übrigen Flüssigkeiten ist nach Ure: des Alkohols = 245,56; des Schwefeläthers = 168; des Terpentinspiritus = 98,82; des Petroleums = 98,82; der Salpetersäure 296,66, des flüss. Ammoniak = 465; der Essigsäure = 486,11 Centesimalgrade vom Siedepuncte des Wassers angerechnet. Diese Bestimmungen werden übrigens dadurch erhalten, dafs man eine gegebene Quantität des zu untersuchenden Dampfes in Wasser oder Eis leitet, und bestimmt, welche Menge von ersterem um 100° C. erwärmt oder von lezterem geschmolzen wird. Ist also die Bestimmung beim Wasserdampfe richtig, so wird dieser eine 640mal so grofse Menge Wasser, als er selbst beträgt, um 1° C. oder eine 6,4mal so grofse von [illegible] bis zum Siedepuncte zu erwärmen vermögen, die in ihm selbst enthaltene latente Wärme aber wird beim Nullpuncte des Thermometers = 640, beim Siedepuncte = 540° C. betragen.

Bei der Untersuchung der Dämpfe mufs vor allen Dingen die Bestimmung des Punctes ihrer gröfsten Dichtigkeit berücksichtigt werden, und die Vernachlässigung dieser Regel erzeugt nicht selten grofse Verwirrung. Befindet sich

---

[1]) Ebend. II. p. 10.
[2]) Gren N. J. IV. 312.
[3]) Biot Traité. IV. 712.
[4]) Phil. Trans. 1818. II. p. 336.
[5]) Traité élém. de Phys. p. 95.
[6]) Robison Mech. Phil. II. 164.
[7]) Thénard Traité de Chim. I. 81.
[8]) Thomson System of Chim. T. I.

nämlich in irgend einem Gefäſse eine hinreichende Menge der verdampfenden Flüssigkeit, so wird davon eine der Temperatur proportionale Menge in Dampf verwandelt werden, so daſs ein Theil desselben sofort wieder tropfbar flüssig wird, wenn seine Wärme sinkt; der Dampf kann also bei dieser Temperatur nicht dichter werden, und heiſst diesemnach gesättigter oder im Maximum seiner Dichtigkeit befindlicher, und da nur ein solcher bestimmten Gesetzen folgt, so kann auch bloſs von solchem bei der Aufsuchung der lezteren die Rede seyn. Trennte man die tropfbare Flüssigkeit vom Dampfe, um diesen allein zu untersuchen, und erweiterte man den ihn einschlieſsenden Raum um das Doppelte, so würde er sich auch in diesem gleichmäſsig ausbreiten, und in dieser Hinsicht also ein den Gasarten gleiches Verhalten zeigen, auch soll sich derselbe auf gleiche Weise als die lezteren durch vermehrte Wärme ausdehnen §. 85.; allein diese Uebereinstimmung findet bloſs für Vermehrung des Raumes und der Temperatur statt, nicht aber für Verminderung, wodurch er sich also wesentlich von den Gasarten unterscheidet, so daſs man sagen kann, er folge dem Mariotteschen Gesetze nicht. Wäre z. B. ein Gefäſs mit gesättigtem Dampfe gefüllt, und man verkleinerte den Raume um die Hälfte, so würde nicht (wie bei Gasarten) die Dichtigkeit und Elasticität desselben um das Doppelte wachsen, sondern unverändert bleiben, dagegen aber die Hälfte desselben wieder in tropfbare Flüssigkeit verwandelt werden; wenn dagegen die Temperatur abnähme, so würde seine Dichtigkeit bei gleichbleibendem Raume und Drucke nicht gleichbleiben, sondern nach einem andern als dem für die Gasarten aufgefundenen Gesetze vermindert werden, indem gleichfalls ein Theil zur tropfbaren Flüssigkeit zurückkehrte. Gasarten werden bei gleichbleibendem Drucke durch Verminderung der Wärme dichter, Dämpfe dagegen gerade im Gegentheil dünner.

Ueber die Elasticität der Dämpfe oder diejenige Kraft derselben, womit sie nach Art der Luft eine Quecksilbersäule von gegebener Höhe emporzudrücken vermögen, will Dalton [1]) das allgemeine Gesetz aufgefunden haben, daſs sie bei allen, von welchen Flüssigkeiten sie auch erzeugt seyn mögen, von ihrem jedesmaligen Siedepuncte an gerechnet, für gleiche Zunahmen der Temperatur gleich sey.

[1]) Mem. of the liter. and phil. Soc. of Manchester. 1805. T. V. p. 550. Gilb. Ann. XV. 1.

Innerhalb enger Grenzen läfst sich vieles für die Richtigkeit dieses Gesetzes anführen [1]), allein in ganzer Strenge ist es nicht richtig, wie die prüfenden Versuche von J. T. Mayer [2]), Ure [3]), Despretz [4]) u. a. gezeigt haben [5]). Indefs werden Dalton's Bestimmungen noch immer sehr hoch geachtet, und namentlich in Frankreich auch gegenwärtig meistens bei allen Berechnungen zum Grunde gelegt, obgleich die Anwendung der durch Biot [6]) danach gefundenen Formel auf sehr hohe Grade keine befriedigende Resultate giebt, indem, wenn e die Elasticität des Dampfes in pariser Zollen bedeutet, log. e für 317,°5 C. = 0,45156—2 und für 580° C. gar = 0,23727—18 ist [7]).

Insbesondere ist die Elasticität des Wasserdampfes wegen seiner Anwendung zu Dampfmaschinen aufserordentlich viel untersucht, und verdienen deswegen vorzüglich Watt [8]), Betancourt [9]), G. G. Schmidt [10]), Bicker und Rouppe [11]), Southern [12]), Ure [13]) und Arzberger [14]) genannt zu werden. Einen allgemeinen analytischen Ausdruck für die Expansivkraft der Wasserdämpfe suchten unter andern Prony [15]), G. G. Schmidt, Soldner [16]), J. T. Mayer, Biot, Ure, La Place [17]), Kämtz [18]),

---

1) Siehe Biot Traité I. 280.
2) De vi elast. vaporum in com. Soc. Got. 1809.
3) Phil. Trans. 1818. p. 381.
4) Ann. Chim. et Phys. XVI. 105.
5) Vergl. Parrot in Gilb. Ann. XVII. 82. und meine Physikal. Abh. Giefs. 1816.
6) Traité I. 268.
7) S. Gehler's Wörterb. Th. II. p. 331.
8) Robison Mech. Phil. II. 29.
9) Mém. sur la force expans. de la vapeur. Par. 1792. 4.
10) Gren N. Journ. IV. 264.
11) Nieuwe Verhandel. van het Bataafsch Genootschap. cet. to Rotterdam. Amst. 1800. Deel I.
12) Robison a. a. O.
13) Phil. Trans. 1818. p. 356.
14) Jahrbücher des Polyt. Inst. I. 144.
15) Neue Architectura Hydraulica. Uebers. von Langsdorf. 1795. I. 602. II. 6.
16) Gilbert Ann. XVII. 44. XXV. 411.
17) Mec. Cel. IV. 273.
18) Schweigg. Journ. N. F. XII. 424. und in einem eigenen Werke: Untersuchungen über den Dampf. 1826.

Christian [1]) und August [2]) auf die sichersten Beobachtungen zu gründen. Für die Temperaturen vom Nullpuncte bis zum Siedepuncte des Wassers geben alle aufgefundene Formeln mit den Beobachtungen nahe übereinstimmende Resultate, diejenige aber, welche dieses auch für die höchsten Temperaturen leistet, ist die von J. T. Mayer, und diese giebt mit Einführung der aus den neuesten Versuchen entnommenen Constanten die Elasticität = E in par. Zollen Quecksilberhöhe für die Temperaturen nach R.

$$\log. E = 2{,}83165 + \log. (213 + t) - \frac{847{,}3}{140 + t}.$$

Die nachstehende Tabelle enthält die den Temperaturen nach Graden der hunderttheil. Skale zugehörigen Elasticitäten des Wasserdampfes in par. Zollen, welche durch 28 dividirt die Zahl der Atmosphären geben, denen der Druck des Dampfes gleichkommt.

t	E	t	E	t	E	t	E
—10	0,0530	80	13,204	170	201,63	400	5202,0
— 5	0,0835	85	16,099	175	225,61	425	6444,2
0	0,1282	90	19,489	180	251,69	450	7856,0
5	0,1923	95	23,435	185	279,99	475	9446,7
10	0,2825	100	28,000	190	310,62	500	11221
15	0,4069	105	33,252	195	343,70	525	13183
20	0,5755	110	39,264	200	379,34	550	15335
25	0,8500	115	46,110	210	458,78	575	17681
30	1,0963	120	53,870	220	549,88	600	20219
35	1,4799	125	62,628	230	653,60	650	25880
40	1,9709	130	72,472	240	770,90	700	32313
45	2,5921	135	83,489	250	902,69	750	39523
50	3,3694	140	95,770	275	1301,8	800	47459
55	4,3320	145	109,42	300	1811,4	850	56132
60	5,5125	150	124,52	325	2444,9	900	65509
65	6,9483	155	141,19	350	3214,5	950	75565
70	8,6784	160	159,53	375	4131,3	1000	86262
75	10,748	165	179,64				

Die Kenntnifs der Elasticität der übrigen Dämpfe ist ungleich weniger wichtig, und daher auch nicht so oft untersucht. Inzwischen sind von Watt, G. G. Schmidt, J. T. Mayer, Ure, Despretz, von mir selbst [3]) und

[1]) Mécan. industrielle. T. II. p. 240.
[2]) Poggendorff Ann. LXXXIX. p. 125.
[3]) Physical. Abh. Giefs. 1816.

andern so viele genaue Beobachtungen vorhanden, dafs man aus ihnen füglich Formeln entwickeln kann, welche zwar bei den unbeschreiblich grofsen Schwierigkeiten solcher Versuche keine absolute, aber doch eine hinlänglich genäherte Genauigkeit gewähren, und da die Dämpfe allgemein ihrem Wesen nach einander wo nicht gleich, doch sehr ähnlich sind, so läfst sich die so eben für die Wasserdämpfe angegebene Formel mit Veränderung der Constanten auch auf die übrigen anwenden. Werden daher die eben angegebenen Bedeutungen von E und t beibehalten, so ist für Alkoholdampf

$$\log. E = 5,029065 + \log. (213 + t) - \frac{1666,7}{213 + t}$$

und für Schwefelätherdampf

$$\log. E. = 3,7818278 + \log. (213 + t) - \frac{1144,2}{213 + t}.$$

Unter Dichtigkeit des Dampfes versteht man die Menge der tropfbaren Flüssigkeit, welche zur Bildung desselben bei einer gegebenen Temperatur expandirt wird, bestimmt durch den Raum, welchen diese vorher und nachher einnimmt. Aus dem Verhältnifs dieser Räume und dem Grundsatze, dafs die Dichtigkeiten aller Körper dem Raume, welchen sie einnehmen, umgekehrt proportional sind, erhält man sonach die Dichtigkeit der Dämpfe gegen diejenige der Flüssigkeit, aus welcher sie gebildet sind, und kann sie dann leicht durch Multiplication mit derjenigen Zahl, welche das specifische Gewicht derselben ausdrückt, auf Wasser, und durch Division mit derjenigen Zahl, welche die Dichtigkeit der Luft gegen lezteres bezeichnet, auf Luft zurückführen. Es ist ferner schon oben §. 55. angegeben, dafs die Dämpfe ihre Dichtigkeit nicht ändern, wenn Luftarten von gröfserer Elasticität, als ihre eigene ist, auf sie drücken, und es läfst sich dieser wichtige Satz allgemein so bestimmen, dafs die Dichtigkeit der Dämpfe im leeren und lufterfüllten Raume ganz gleich ist, und dafs daher in jenem und in diesem gleiche Mengen von Flüssigkeiten verdampfen, jedoch im lezteren langsamer, weil die schon gebildeten Dämpfe sich schwerer in den Gasarten bewegen und ausbreiten, als im leeren Raume. Hiernach ist also die Dichtigkeit der Dämpfe lediglich eine Function der Wärme, sobald man von gesättigten, oder im Maximo ihrer Dichtigkeit befindlichen redet, welche entstehen, wenn eine genügende Menge von Flüssigkeit zum Verdampfen vorhanden ist, und für welche allein bestimmte Gesetze aufgestellt werden können.

Die Dichtigkeit des Wasserdampfes ist von vielen Gelehrten deswegen mit grofsem Aufwande von Zeit und Mühe untersucht, weil man hieraus gern die Menge des Regens bestimmen wollte, welche durch Abkühlung aus der Atmosphäre herabfallen kann, allein da die Versuche höchst schwierig sind, so waren die Resultate derselben theils an sich schwankend, theils ungenügend. Gay-Lyssac dagegen wählte ein sichereres Verfahren, indem er gewogene Quantitäten der Flüssigkeiten in kleine Glaskügelchen einschlofs, diese durch das Quecksilber in den torricellischen Raum aufsteigen liefs, die Glashülle durch Hitze sprengte, und dann die Temperatur so weit erhöhete, bis die gesammte Menge in Dampf aufgelöset war, wobei die Gröfse des Raumes, welchen dieser einnahm, im Verhältnifs zum Volumen der tropfbaren Flüssigkeit die Dichtigkeit desselben gab. Als Endresultat aus diesen Versuchen wurde gefunden, dafs die Dichtigkeit des Wasserdampfes $^5/_8$ derjenigen betragen solle, welche die atmosphärische Luft unter gleichem Drucke und bei gleicher Temperatur hat [1]). Gleichzeitig stellte ich selbst eine lange Reihe auf die Weise an, dafs ich eine gewogene Quantität Flüssigkeit in einem Röhrchen eingeschlossen in einen gläsernen Ballon von gemessenem Inhalte brachte, lezteren vollständig und nach wiederholter Anfüllung mit ausgetrockneter Luft exantlirte, das Röhrchen durch mechanische Gewalt sprengte, und durch Erhöhung der Wärme, welche durch ein im Centro des Ballons befindliches Thermometer gemessen wurde, diejenige Temperatur bestimmte, bei welcher die Flüssigkeit völlig expandirt war. Die ganze Reihe der erhaltenen Resultate stimmte mit der von J. T. Mayer für die Dichtigkeit der Dämpfe aufgestellten Formel, wonach $\delta = \left(\frac{a}{1+\frac{t}{213}}\right) e$ ist, wenn δ die Dichtigkeit, e die Elasticität, t die Temperatur in Graden nach R. und a einen aus den Beobachtungen zu bestimmenden Coefficienten bezeichnet, so genau überein, als man bei der Schwierigkeit solcher Versuche erwarten kann. Nach der Bestimmung jenes Coefficienten heifst die Formel dann:

$$\delta = 0{,}0064107 \frac{e}{213+t}$$

[1]) Biot Traité. I. 291.

wofür die Werthe von e in der vorstehenden Tabelle enthalten sind. Aus meinen Versuchen geht gleichfalls hervor, daſs die Dichtigkeit des Wasserdampfes ein fast stets gleichbleibendes Verhältniſs gegen Luft unter gleichem Drucke und bei gleicher Temperatur beibehält; berechnet man indeſs die Dichtigkeiten nach der angegebenen Formel genau, so eilen die der Dämpfe denen der Luft in höheren Temperaturen voraus, und ich glaube allerdings, daſs dieses der Natur der Sache deswegen angemessen ist, weil bei einer Erhöhung der Temperatur stets eine neue Menge Dämpfe hinzukommt, und überhaupt die Dämpfe ein anderes Verhalten zeigen, als die Gasarten, so daſs es allerdings etwas auffallend seyn müſste, wenn jenes Verhältniſs durch alle Temperaturen durchaus das nämliche seyn sollte [1]). Endlich weicht die von mir erhaltene Bestimmung dieses Verhältnisses in mittleren Temperaturen etwas von dem durch Gay-Lüssac gefundenen ab, indem es $\frac{10}{15,2242}$, also etwas gröſser ist, und ich glaube, daſs dieses für die Genauigkeit beider Versuchsreihen entscheidet, weil Gay-Lüssac auf allen Fall ein zu kleines Resultat finden muſste; denn entweder war das Quecksilber in seiner Röhre ausgekocht, so vermehrte die Feuchtigkeit die Capillardepression, und vergröſserte den Raum, noch leichter aber konnte durch die Erhitzung aus dem muthmaſslich nicht ausgekochten Quecksilber etwas Luft oder Dampf entwickelt werden, und dann muſste er noch mehr den Raum zu groſs, also die Dichtigkeit zu klein finden. Endlich aber ist das Verhältniſs 5 : 8 zwar für die Berechnung sehr bequem, aber dennoch zu einfach, als daſs es nach Wahrscheinlichkeitsgründen haarscharf in der Natur vorkommen sollte.

Da man auch die Dichtigkeit der Wasserdämpfe in so vielen Fällen zu kennen wünscht, so enthält die folgende Tabelle einen Auszug aus der gröſseren von mir berechneten, welche für zwischenliegende Grade füglich einfach interpolirt werden kann. Darin bezeichnet t die Temperatur in Graden C.; d die Dichtigkeit des Dampfes gegen Wasser im Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit; d′ die Dichtigkeit gegen Luft unter 28 Z. Barometerdruck und bei 0° Temperatur.

---

[1]) Physicalische Abhandl. Gieſs. 1816. Die Rechnungen sind indeſs mit Aufnahme der späteren Beobachtungen abermals neu hergestellt in Gehler's Wörterb. Th. II. p. 385.

t	d	d′	t	d	d′
—50	—	0,000011	95	0,000520	0,40516
—30	—	000168	100	000613	47747
—20	—	000498	110	000836	65175
—10	0,000002	001292	120	001118	87106
0	·000004	003005	130	001466	1,1423
5	000006	004429	140	001889	1,4725
10	000008	006387	150	002398	1,8684
15	000012	009036	160	002999	2,3374
20	000016	012557	170	003704	2,8864
25	000022	017160	180	004520	3,5225
30	000030	023113	190	005456	4,2521
35	000039	030680	200	006520	5,0814
40	000052	040193	210	007720	6,0168
45	000067	052013	220	009062	7,0629
50	000085	066541	230	010554	8,2258
55	000108	084221	240	012203	9,5104
60	000135	105530	250	014012	10,921
65	000168	131010	300	025634	19,979
70	000207	161200	350	041800	32,578
75	000252	196700	400	062604	48,791
80	000306	238170	450	087894	68,503
85	000367	236250	500	11735	91,462
90	000438	341670			

Soll das in der zweiten Columne enthaltene Verhältnifs gegen Luft bei 0° und unter einem Drucke von 28 Z. Barometerhöhe auf ein anderes gegen Luft bei einer Temperatur $= t$ und einer Barometerhöhe $= h$ reducirt werden, so darf man die unter d′ mitgetheilten Werthe nur mit $\frac{28}{h}(1 + 0{,}00375\,t)$ multipliciren. Uebrigens zeigt die Tabelle, dafs das Volumen des Wassers, welches aus einem gegebenen Volumen Dampf erhalten wird, sehr geringe ist. Hierauf ist das Mittel gegründet, durch Wasserdämpfe einen leeren Raum zu erzeugen, auf welches Princip Wilke und Berretray den Bau ihrer Luftpumpe gründeten §. 50. Wenn nämlich Wasserdämpfe in irgend ein Gefäfs strömen, so treiben sie bei der Siedehitze alle Luft aus §. 55., und wenn sie dann durch Abkühlung zu Wasser condensirt werden, so lassen sie einen leeren oder vielmehr einen mit sehr dünnen und wenig elastischen Dämpfen erfüllten Raum zurück.

Auch zur Berechnung der Dichtigkeiten anderer Dämpfe läfst sich die für die Wasserdämpfe aufgestellte Formel benutzen, wenn Beobachtungen genug vorhanden sind, um den beständigen Factor genau zu erhalten. Aus meinen Versuchen, welche mit denen von Saussüre[1]) und Gay-Lüssac[2]) sehr genau übereinstimmen, ist für Alkoholdampf

$$\delta = 0{,}016 \frac{e}{213 + t}$$

wenn δ die Dichtigkeit gegen Wasser im Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit, e die Elasticität in par. Zollen und t die Temperaturen in Graden R. ausdrückt. Die von mir für Schwefelätherdampf gefundenen Bestimmungen weichen von denen, welche durch Gay-Lüssac[3]) und Despretz[4]) erhalten sind, bedeutend ab, liegen aber zwischen beiden nahe in der Mitte, und dürften so viel sicherer seyn, als sie mit dem für Wasserdämfe gebrauchten Apparate erhalten wurden, und bei der grofsen Dichtigkeit dieser Dämpfe eine kleine Fehlergrenze lassen. Hiernach ist mit gleichen Bezeichnungen

$$\delta = 0{,}0179 \frac{e}{213 + t}.$$

Für die übrigen Dämpfe sind bis jezt nur noch wenige und nicht durch wiederholte Prüfungen als hinlänglich zuverlässig erkannte Bestimmungen bekannt geworden.

Ist bei zunehmender Temperatur keine Flüssigkeit zur Bildung einer neuen Quantität Dampf mehr vorhanden, so kommt der schon gebildete unter das Maximum seiner Dichtigkeit, und seine von diesem Puncte an erhöhete Elasticität ist blofs Folge der Ausdehnung durch Wärme §. 85. Man kann übrigens nach den mitgetheilten Bestimmungen leicht die Quantität Wasserdampf, welche in der freien gesättigten Luft vorhanden ist, berechnen. Es ist nämlich die Dichtigkeit der Luft $d = \frac{h}{28\,Z} \cdot \frac{1}{1 + 0{,}00375\,t}$ §. 52 und 85, und also die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes $\delta = d\ 0{,}65685 \times \frac{\varepsilon}{28\,Z}$. Eben so läfst sich leicht berechnen, um wie viel

[1]) Journ. de Phys. LXIV 316. Gehlen Journ. IV. 60.

[2]) Ann. de Chim. LXXX. 218. Despretz Traité p. 123.

[3]) Ann. de Chim. LXXX. 218. Gilb. Ann. XLV. 333.

[4]) Ann. Chim. et Phys. XXI. 149.

die mit Dampf gesättigte Luft durch Abkühlung und erfolgenden Niederschlag an Elasticität in Zollen der Quecksilbersäule vermindert werden muſs, da ihre Elasticität der Summe beider Elasticitäten der Mischung gleich ist. Nennt man also die beiden Temperaturen (nach C) t und t'; die denselben zugehörigen Elasticitäten des Wasserdampfes ε u. ε', das Verhältniſs der Barometerstände b, so ist [1]) die Verminderung = $0{,}00375\,(t - t')\,b + (\varepsilon - \varepsilon')$.

§. 94.

Weil man schon frühe die groſse Elasticität der Dämpfe kennen lernte, so suchte man dieselbe als bewegendes Mittel in der Mechanik zu benutzen. Wegen der Wohlfeilheit wendet man in der Regel bloſs die Wasserdämpfe an, und benutzt diese mit groſsem Vortheile zu den Dampfmaschinen, auch hat man versucht, sich ihrer zur Ballistik zu bedienen. Die Dampfmaschinen sind nach dem Verhältniſs der Spannung des Dampfes entweder atmosphärische, oder mit einfachem Drucke, oder mit hohem Drucke und Expansionsmaschinen; nach der Construction entweder mit einem Stiefel oder mit doppelten oder Rotationsmaschinen.

Der einfachste Apparat, womit die Elasticität des Dampfes gezeigt, und welcher auch zu sonstigen Untersuchungen, z. B. zur Bestimmung der latenten Wärme des Dampfes gebraucht werden kann, wenn man aus ihm eine bestimmte Quantität desselben in Eis oder in Wasser strömen läſst, um ersteres zu schmelzen, lezteres zu erwärmen, ist die *Aeolipile* oder *Dampfkugel*, welche schon den Alten
Fig. 101] bekannt war [2]). Sie besteht im Allgemeinen aus einer Kugel oder einem Sphäroide A von starkem Kupfer mit einem aus dieser auslaufenden geraden oder gekrümmten, fein durchbohrtem Röhrchen, aus dessen Mündung a der Wasserdampf bläst, wenn man die Kugel erst erhitzt, dann die Spitze a in Wasser taucht, damit jene zu 0,3 oder 0,5

[1]) S. meine phys. Abh. oder den Auszug aus denselben in Schweigg. J. XXII. I. Vergl. Biot Traité I. a. v. O.

[2]) Vitruvius de archit. L. I. cap. VI.

damit angefüllt werde, und demnächst dieses Wasser zum Sieden bringt. Die Röhre kann für genauere Versuche mit einem Hahn β verschlossen werden, in welchem Falle aber zur Vermeidung großer Gefahr das durch eine Feder angedrückte Ventil α angebracht seyn muß. Mit dem aus der Spitze strömenden Dampfe kann ein Licht geblasen und eine vorgehaltene brennende Kohle mehr entzündet werden, weil der Dampfstrom zugleich eine Menge Luft mit sich fortreißt.

Der Dampf, als elastische Flüssigkeit, muß auch durch einseitig aufgehobenen Druck gegen die Wandungen der Gefäße, wie jede andere Flüssigkeit wirken §. 57. Hierauf ist eine schon den Alten [1]) bekannte, neuerdings durch v. Kempelen [2]) u. a. wieder vorgeschlagene Maschine gegründet, welche zwar keinen bedeutenden Effect gewährt, weil die Bildung des Dampfes zu viele Wärme erfordert, aber sehr gut zur Versinnlichung der Sache benutzt werden Fig. 102.] kann. Eine mit Wasser, oder des leichteren Siedens wegen mit Weingeist bis zur Hälfte gefüllte Kugel a, welche zwischen den Spitzen α und β um ihre verticale Axe leicht beweglich ist, trägt oben das S förmig gebogene hohle Röhrchen de, welches oben so aufgeschraubt ist, daß die Oeffnungen an den Enden desselben mit dem Innern der Kugel in Verbindung sind. Unter die Kugel wird die Weingeistlampe b gestellt, und wenn durch diese die in der Kugel befindliche Flüssigkeit in heftiges Sieden geräth, und die Dämpfe aus den Oeffnungen d und e strömen, so geräth durch die Reaction die Kugel in starke Bewegung. Daß auf ähnlichen Gesetzen das Stoßen der Geschütze [3]) beruhe, ist schon oben erwähnt §. 57.

Als Erfinder der eigentlichen Dampfmaschinen nennt man meistens den Marquis von Worchester, allein aus seiner Century of Inventions, welche 1663 zuerst bekannt, und 1683 zuerst gedruckt wurde, sind kaum Spuren herauszubringen, welche auf eine solche Maschine hindeuten. Gewiß ist dagegen, daß Savery schon 1699 ein Modell seiner Maschine vorzeigte, welche hauptsächlich wegen der ungeübten Künstler, die sie verfertigen sollten, unvollkommen blieb [4]). Diese Art Maschinen bestehen aus einem Gefäße, welches mit Dampf gefüllt wird, und wenn dann dieser

[1]) Heronis Alex. spirit. Lib. p. 66.
[2]) Mém. de l'Acad. de Prusse 1750 u. 51.
[3]) S. Mosotti in Mem. di Matem. et di Fis. della Soc. Ital. XVII.
[4]) Phil. Trans. 1699. XXI. p. 223.

durch Abkühlung einen sehr kleinen Raum einnimmt, so drückt die äufsere Luft das Wasser durch ein Rohr in dieses Gefäfs, jedoch nicht bis zur Höhe von 32 par. F. Strömt demnächst wieder Dampf in dieses Gefäfs, so vermag dieser das Wasser, welchem der Rückgang durch geeignete Ventile abgeschnitten ist, zu einer seiner Elasticität proportionalen Höhe zu drücken, und dann beginnt der Procefs aufs Neue. Solche Maschinen sind blofs zur Hebung des Wassers geeignet, und erfordern verhältnifsmäfsig viel Brennmaterial.

Die erste Idee zu den jetzt üblichen Dampfmaschinen gab Dionysius Papinus, indem er einen Embolus durch entzündetes Schiefspulver heben, und dann durch den Druck der Atmosphäre wieder niederdrücken lassen, beide Bewegungen aber für Maschinen benutzen wollte. Der bekannte Dr. Hooke verwarf diese Idee, und forderte den Eisenschmidt Newcomen auf, den Embolus lieber durch Wasserdämpfe zu heben. Lezterer brachte eine solche Maschine zu Stande, und erhielt im Jahre 1705 ein Patent darüber [1]). Diese Dampfmaschine war eine atmosphärische, d. h. eine solche, bei welcher die geforderte Kraft durch den Druck der atmosphärischen Luft hervorgebracht wurde, und bei ihr kommt also das zum Grunde liegende Princip am einfachsten zur Anwendung. [Fig. 103.] Sie bestehen nämlich insgesammt aus einem metallenen [2]) (eisernen) Stiefel AB, mit einem Embolus a, welcher auf und nieder bewegt wird, um vermittelst der Stange cd die Maschinen in Bewegung zu setzen. Dafs man übrigens durch zahlreiche mechanische Hülfsmittel eine einmal erzeugte Bewegung auf jede beliebige Weise benutzen könne, wird als bekannt vorausgesetzt. Newcomen's Maschine hatte blofs einen Stiefel mit dem Embolus, welcher schon an sich durch das Gegengewicht der Gestänge, die in den Bergwerken zur Förderung des Wassers herabhingen, gehoben, am wirklichen Emporsteigen aber durch den Druck der Luft gehindert wurde. Strömte aber aus dem Siedekessel Wasserdampf durch die Röhre β unter den Embolus, so stieg dieser, bis er die erforderliche Höhe erreicht hatte; dann wurde durch einen Aufseher das Ventil bei β geschlossen, das bei α' geöffnet, und weil das

1) R. Stuart A descriptive History of the Steem Engine. Lond. 1824. Partington Historical and descriptive Account of the Steen Engine. Lond. 1822. 8.

2) Der Graf Bucquoi hat mit Erfolg versucht, eine Dampfmaschine ganz aus Holz zu bauen. S. Beschreib. einer Dampfmasch. u. s. w. Prag 1814. Gilb. Ann. XLIII. 102.

Rohr, wozu lezteres gehört, in einen Brunnen hinabging, also der Dampf dem kalten Wasser zuströmte, so entstand ein leerer Raum, die Luft drückte den Embolus wieder herab, und war also das bewegende Mittel.

Auf den ersten Blick scheinen diese Maschinen den Vorzug vor allen andern zu haben, weil das bewegende Mittel ohne weiteren Aufwand gegeben ist, und zwar von einer überraschenden Stärke. Beträgt nämlich die Fläche des Embolus nur einen par. Quadratfuſs, so erleidet dieselbe einen Druck von etwa 2200 cöln. ℔ §. 51; allein dennoch erkannte Watt seit 1756 die beiden wesentlichen Fehler derselben. Der erste von diesen besteht darin, daſs sie für die durch sie gegebene Kraft zu viel Brennmaterial erfordern, indem der erzeugte Dampf fortgeschafft und der Stiefel zu sehr abgekühlt werden muſs. Um diesem abzuhelfen, verschloſs er den Stiefel oben dampfdicht, lieſs die Kolbenstange durch eine mit Werch ausgestopfte Büchse gehen, und leitete den Dampf durch die beiden Röhren α und β abwechselnd über und unter den Stiefel, gab jedem Raume ein Ableitungsrohr β' und α', lieſs das aus dem Dampfe erzeugte warme Wasser durch eine Pumpe aufgesogen werden, benutzte dieses schon erwärmte wieder, und beschleunigte hierdurch den Wechsel des Kolbenspieles bedeutend. Der zweite Fehler bestand darin, daſs der Balancier ck nebst dem ganzen vom Arme k herabgehenden Gestänge zwischen jedem Wechsel des Embolus völlig zur Ruhe kam, und daher jederzeit das ganze Trägheitsmoment der gesammten Maschinentheile überwunden werden muſste, wodurch sie nicht füglich zu etwas anderem, als zum Heben des Wassers brauchbar war. Watt brachte daher das Schwungrad an, welches vermittelst einer Kurbel durch eine vom Arme k herabgehende Stange in steter Umdrehung erhalten wurde, und durch Ausgleichung der in den Zeitintervallen wechselnden Kraft den gesammten bewegten Maschinen einen gleichmäſsigen Gang gab.

Die in allen Theilen des Mechanismus bedeutend verbesserten Dampfmaschinen dieser Art sind nachher am häufigsten in Anwendung gekommen. Sie heiſsen *von einfachem Drucke*, allein die Hitze des Dampfes übersteigt bei ihnen allezeit die des siedenden Wassers um einige Grade, weil die Elasticität des Dampfes durch Vermehrung der Temperatur bedeutend wächst. Maschinen von höherem Drucke anzuwenden hinderte die Furcht vor den Gefahren beim möglichen Zerspringen des Kessels, indeſs wurden sie schon

seit 1802 durch Vivian, Threvitthick und insbesondere den Nordamericaner Evans viel gebauet, bis neuerdings Perkins sie sehr in Aufnahme zu bringen sucht. Ob die lezteren dasjenige wirklich leisten, was der Erfinder von ihnen rühmt, ist bei dem lebhaften Streite darüber schwer zu entscheiden; da man aber die Gefahr des Zerspringens der Kessel neuerdings zu vermeiden gelernt hat, so läfst sich der gröfsere Vortheil der Maschinen mit hohem Drucke aus anerkannten Grundsätzen leicht nachweisen. Wenn man annimmt, dafs bei den Dampfmaschinen mit einfachem Drucke Wasserdampf von 105° C. in Anwendung kommt, und bis 50° C. abgekühlt wird, so übt dieser nach der für die Elasticitäten gegebenen Tabelle einen Druck gegen den Embolus aus, welcher dem Unterschiede der, beiden Temperaturen zugehörigen, Elasticitäten gleich ist, also in par. Zollen ausgedrückt $= 33{,}25 - 3{,}37 = 29{,}88$ par. Zolle und die Dichtigkeit dieses Dampfes beträgt $= 0{,}000633$ gegen Wasser. Wendet man dagegen nach Perkins Dampf von 35fachen atmosphärischem Drucke an, und läfst diesen nur so weit abkühlen, dafs er noch eine Spannung von 5 Atmosphären behält, so ist die Elasticität eines solchen Dampfes in genäherten Werthen $= 840$ par. Z. und seine Dichtigkeit $= 0{,}012388$. Indem aber der Nutzeffect beider Maschinen rücksichtlich des Aufwandes an Brennmaterial im geraden Verhältnisse der erzeugten Kraft und im umgekehrten der Dichtigkeiten steht, indem die Summen der latenten und der sensibelen Wärme bei beiden Arten von Dampf gleich sind, so verhalten sich beide wie $\frac{29{,}88}{0{,}000633} : \frac{840}{0{,}012388} =$ $47109 : 67307 = 1 : 1{,}44$. Bringt man also vorläufig nicht in Anschlag, dafs man bei den Maschinen mit niederem Drucke das Wasser anfangs nur bis 105° C., bei den mit hohem Drucke aber bis 256,25 erhitzten mufs, und nimmt man an, dafs bei lezteren nicht mehr Wärme durch Ausströmung derselben verloren werde, als bei ersteren, und dafs bei beiden das einmal erwärmte, und für die geforderte Wirkung bei jenen um 55, bei diesen aber um 98.75 Grade abgekühlte Wasser jederzeit ohne neuen Zuflufs wieder gebraucht werden könnte, so würde allerdings ein nahe 1,5facher Vortheil auf die Seite der Maschinen mit hohem Drucke fallen. Alle diese Bedingungen können zwar in der Anwendung nicht genau stattfinden, und es können sich daher die lezteren blofs aus dem Grunde vortheilhafter zeigen, weil die Elasticität der Dämpfe mit den Temperaturen un-

gleich schneller steigt, als ihre Wärme und Dichtigkeit. Sollten indeſs alle diejenigen Vortheile wirklich erhalten werden, welche Perkins seinen Meschinen beilegt, auſser dem unverkennbaren einer groſsen Ersparung an Raum, so müssen noch andere, in dieser Berechnung nicht aufgenommene, Bedingungen dabei mitwirken.

Vorzügliche Aufmerksamkeit verdienen noch die Expan- Fig. 103.] sionsmaschinen. Sie beruhen auf dem Grundsatze, daſs der Dampf von höherem Drucke, wenn er z. B. durch das Rohr β unter den Embolus strömt, und diesen mit der ihm eigenen Elasticität, wir wollen annehmen mit 2 Atmosphären, bis q gehoben hat, erst dann auf die Spannung einer Atmosphäre herabgehen würde, wenn er ohne neuen Zufluſs sich in einen fast doppelt so groſsen Raum ausgebreitet hätte. Um daher auch noch diese Kraft zu benutzen, wird der Hahn geschlossen, wenn der Embolus die erforderliche Höhe erreicht hat, und man läſst diesen dann durch die noch vorhandene Expansion des Dampfes gehoben werden, oder man läſst den Dampf aus dem ersteren Stiefel in einen zweiten übergehen, wo er dann bloſs vermöge seiner Expansion auf einen anderen Embolus wirkt [1].

Obgleich durch diese Maschinen vermittelst des Schwungrades jede Art von Bewegung, auch die rotirende erzeugt werden kann, so war man doch vielfach darauf bedacht, diese unmittelbar zu erzeugen; allein diese Art von Maschinen sind nicht zu einem bedeutenden Grade der Vollendung gebracht, und es verdient daher bloſs etwa das *Mastermannsche Rad* genannt zu werden. Dieses besteht aus einem radförmigen Ringe, in welchem durch Hülfe geeigneter Klappen der Dampf bloſs an die eine Seite tritt, und Wasser durch seinen Druck an der andern in die Höhe treibt, durch dessen Gewicht dann das Rad um seine Axe gedrehet wird. J. Baader hat mit gutem Erfolge statt des Wassers eine leichtflüssige Metallmischung §. 92 in Anwendung gebracht, welche durch die Hitze des Dampfes geschmolzen wird, und durch ihr ungleich gröſseres Gewicht eine gleiche Wirkung bei einem kleineren Halbmesser des Rades gewährt. Daſs übrigens die Hähne, welche dem Dampfe abwechselnd den Zutritt unter und über den Embolus verstatten oder diesen abschlieſsen, durch die Bewegung der Maschine selbst regu-

1) Ueber das Princip der Expansion handelt ausführlich Marestier Mém. sur les bateaux à vapeur des Etats unis d'Amerique. Par. 1825. 4. p. 107.

lirt werden, dieses, so wie überhaupt der künstliche Bau dieser Maschinen, leidet hier in seinen einzelnen Theilen keine Beschreibung.

Den Effect der Dampfmaschinen berechnet man nach Pferdekräften, weil diese dadurch ersetzt werden. Um denselben nicht zu groſs anzugeben, damit die Wirklichkeit nicht hinter der Berechnung zurückbleibe, nahm Watt [1]) an, daſs ein Pferd 180 ℔ in 1 Sec. 3 F. zu heben vermöge, welches also $180 . 60 . 3 = 32400$ oder in runder Zahl 33000 ℔ in 1 Min. beträgt. Ist also die Last bekannt, welche eine Dampfmaschine in gleicher Zeit auf gleiche Höhe zu heben vermag, so wird diese durch die oben gefundene Zahl dividirt, um die Anzahl der Pferdekräfte zu finden, welche ihr zugehört. Nach einer groſsen Zahl verglichener Beobachtungen läſst sich annehmen, daſs für engl. Maſs und Gewicht der Dampf von atmosphärischer Pressung (jedoch einige Grade über den Siedepunct erhitzt) auf 1 Quadratzoll so stark wirkt, daſs dieser 7,5 ℔ mit 200 F. Geschwindigkeit in 1 Min. bewegt. Ein Quad. Zoll ersetzt also $\frac{7,5 \times 200}{33000} = \frac{1}{22}$ der Kraft eines Pferdes, und der Kolben muſs also 22 Quadratzoll Fläche haben, wenn er dieser ganzen Kraft gleichkommen soll. Wird demnach der Flächeninhalt des Kolbens in Quadratzollen durch 22 dividirt, so giebt der Quotient die Anzahl der Pferdekräfte der Maschine, also bei 1 Fuſs $= 144$ Quadratzoll Flächeninhalt ist $x = \frac{144}{22} = 6,5$ Pferdekräfte. Wird dann zu wissen verlangt, wie viele Pferde eine solche Maschine ersetzt, so ist zu berücksichtigen, daſs ein Pferd nur 8 Stunden im Tage, die Maschine aber 24 Stunden arbeitet, und man muſs hiernach die gefundene Gröſse mit 3 multipliciren. Endlich rechnet man im Mittel für eine Maschine von 1 Pferdekraft 8 ℔ Kohlen in 1 Stunde, also 192 ℔ in 24 Stunden, welcher Verbrauch jedoch bei groſsen Maschinen bedeutend abnimmt [2]).

Man hat bekanntlich die Dampfmaschinen mit groſsem Vortheil auch zur Bewegung der Schiffe benutzt, und den

---

[1]) Robison Mech. Phil. II. 145.

[2]) Die auſserordentlich weitläuftige Literatur über die Dampfmaschinen findet man ziemlich vollständig in Gehler's Wörterb. Th. II. 417 ff. Ein neueres Prachtwerk ist: A Treatise on the Steam-Engine; Historical, practical and descriptive. By John Farey. Lond. 1827. 4. Preis 5 Lsterl. Das beste ist: The Steam-Engine cet. By Thom. Tredgold. Lond. 1828. 4 mit 20 Kupfertafeln. Pr. 2 Lsterl. 2 shil.

Dampf selbst zum Ersatze des Schiefspulvers anzuwenden versucht. Schon Vauban [1]) wollte gefunden haben, dafs 140 ℔ Wasser in Dampf verwandelt eine Kraft von 77000 ℔, ein gleiches Gewicht Schiefspulper aber nur 33000 ℔ erzeuge. Obgleich diese Angabe schwerlich eine genauere Prüfung bestehen würde, so giebt sie zugleich, selbst als richtig angenommen, kein genaues Mafs der Vergleichung, welches nur dadurch erhalten werden kann, wenn man den erforderlichen Aufwand für Brennmaterial und hinlänglich starke Apparate mit dem Bedarf an Schiefspulver für gleiche Effecte mit einander vergleicht. Ein wesentlicher Nachtheil fällt schon dadurch auf die Seite der Dampfgeschütze, dafs sie sehr grofse und zusammengesetzte Apparate bedürfen, und es eine geraume Zeit erfordert, bis der Dampf die nöthige Kraft äufsern kann, welche das Schiefspulver im ersten Momente gewährt, und dieser kann durch die grofse Geschwindigkeit, womit nachher die Schüsse auf einander folgen, nicht ersetzt werden. Indefs hat Prechtl [2]) deutlich dargethan, dafs die Effecte des Dampfes die des Schiefspulvers in der Ballistik zu ersetzen nicht vermögen.

Statt der Dämpfe hat Niepce [3]) vorgeschlagen, die erhitzte Luft vermöge der hierdurch bewirkten Ausdehnung als bewegendes Mittel für Maschinen anzuwenden, allein Navier [4]) zeigte, dafs dieses nicht mit Vortheil geschehen könne. Sonstige Vorschläge, als die Anwendung des Knallgases oder des comprimirten kohlensauren Gases, erfordern zu künstliche Maschinerieen und bieten sonstige grofse Schwierigkeiten dar, so dafs sie schwerlich mit Erfolg realisirt werden können.

§. 95.

Die Flüssigkeiten, und insbesondere das Wasser, lösen eine Menge fester Körper auf, und in der Regel steigt diese auflösende Kraft mit zunehmender Temperatur. Um daher die Wärme der Flüssigkeiten bis über die Siedehitze zu erhöhen und zugleich den grofsen Verlust derselben durch Dampfbildung zu vermeiden, bedient man sich der Digestoren. Die grofse Wärme

[1]) Mém. de l'Acad. 1707.
[2]) Jahrbücher des Polyt. Instit. B. IX. p. 1.
[3]) Mém. ne l'Inst. VIII. 146.
[4]) Ann. Chim. et Phys. XVII. 357.

der Dämpfe wird in manchen Fällen vortheilhaft zur Erwärmung benutzt, indem man sie entweder geradezu in Flüssigkeiten überführt, oder in Röhren durch Zimmer leitet.

Dionysius Papinus war der erste, welcher das in völlig verschlossenen Kesseln über den Siedepunct erhitzte Wasser dazu vorschlug, um die in den thierischen Knochen enthaltene Gelatina völlig aufzulösen, und als nahrhafte Speise zu benutzen [1]. Inzwischen waren seine mit einem Deckel ohne Ventil verschlossenen Digestoren wegen der zu fürchtenden Explosionen zu gefährlich, denn man hat verschiedene Beispiele, dafs die stärksten Gefäfse durch die Gewalt der Dämpfe zersprangen [2]. Viele haben daher Vorschläge zur Verbesserung dieses Apparates gethan, namentlich Ziegler [3], van Marum [4], Edelkranz [5] u. a. In der Hauptsache besteht der Digestor aus einem starken Fig. 104] kupfernen Gefäfse A, um welches die eisernen Bänder $\alpha\alpha'$; $\alpha\alpha'$; $\alpha\alpha'$... in Abständen von 1 bis 1,5 Zollen gelegt sind, nebst andern solchen Bändern, die um den Boden gehend den Deckel vermittelst Prefsschrauben hinlänglich fest halten. Zur Messung der Temperatur im Innern dient das mit Quecksilber gefüllte Gefäfs γ, in welches ein Thermometer gesenkt werden kann, und zur Sicherheit das Ventil β, der Deckel aber wird am besten vermittelst umgelegten Hanfes oder Flachses dampfdicht festgeschroben.

Ein solcher Apparat gewährt zwar volle Sicherheit, weil der Hanf früher verkohlt, als die Dämpfe das Metall sprengen, und ist zu wissenschaftlichen Untersuchungen, nämlich um die Auflöslichkeit mancher Körper und ihre etwaigen Veränderungen durch gröfsere Hitze zu prüfen, gewifs von grofsem Nutzen. Allein schon aus seinem künstlichen Baue und seiner Kostbarkeit geht hervor, dafs er nur zu wissenschaftlichen Zwecken und etwa zu technischen Operationen unter der Aufsicht eines geübten Arbeiters gebraucht werden kann, nicht aber zu ökonomischen, und

1) A new Digestor. Lond. 1681. 4. La Manière d'amollir les os. Amst. 1681. 4.

2) S. unter andern Gregory Haushaltung der Natur p. 108. Edinb. Phil. Journ. 1821. July. Wrede in N. Schr. d. Berl. Nat. Ges. IV. 287.

3) Specimen physico chem. de digest. Papini. Basil. 1769. 4.

4) Voigt Mag. III. 198. 215.

5) Gilb. Ann. XXII. 123. Gehlen N. J. II. 616. IV. 317.

namentlich zur Bereitung der Knochengallerte, welche ohnehin bei zu großer Hitze leicht brenzlich und ungenießbar wird, außerdem aber ungleich besser vermittelst Salzsäure von den erdigen Theilen befreiet werden kann. Wenn man indeß berücksichtigt, was für eine Menge Wärme durch die aufsteigenden Dämpfe verloren geht (nach §. 93. so viel, als eine 5,4mal so große Menge Wassers von 0° auf 100° C. zu erwärmen vermag), so sind die in England üblichen eisernen Töpfe mit einem aufgeschliffenen Fig. 105] und sich festklemmenden Deckel mn und einem in diesem beweglichen stumpfen Kegelventile a, dessen Stiel k durch die Handhabe geht, und nicht verloren werden kann, gewiß sehr zu empfehlen, hauptsächlich auf hohen Bergen, wo das Wasser an freier Luft die gewöhnliche Siedehitze wegen verminderten Luftdruckes nicht annimmt.

Läßt man den Dampf in eine Flüssigkeit strömen, so nimmt leztere den in ihm enthaltenen Wärmestoff auf, und wird dadurch bis zu ihrem Siedepuncte erwärmt. Hierauf beruhen die Kochapparate, bei denen verschiedene Gefäße nicht unmittelbar, sondern durch den aus einem gemeinschaftlichen Dampfkessel strömenden, in sie geleiteten Wasserdampf erhitzt werden [1]). Obgleich die auf solche Weise in den verschiedenen Gefäßen enthaltenen Substanzen gleichfalls bei überflüssig zugeführter Wärme eine große Menge der lezteren durch Verdampfung abgeben, und also in dieser Hinsicht aus der Heitzmethode kein Vortheil erwächst, so kann ein solcher doch daraus hervorgehen, daß das Feuer unter dem gemeinschaftlichen Heitzapparate besser zusammengehalten und zweckmäßiger benutzt wird, wenn anders die anhaltende Zuführung neuer Wasserdämpfe den zu kochenden Substanzen nicht nachtheilig ist. In Nordamerika bedient man sich blechener, durchlöcherter Geschirre, welche mit den in ihnen enthaltenen Speisen in ein Gefäß mit Wasser gesetzt werden, so daß die Wasserdämpfe durch die Löcher dringen, und die enthaltenen Substanzen gehörig erweichen, wodurch sie schmackhafter, als durch das Sieden im Wasser, werden sollen [2]).

Da das Wasser die Wärme leicht annimmt, um dadurch in Dampf verwandelt zu werden, und die latente Wärme von diesem so groß ist, so benutzt man ihn in England

---

[1]) Rumford in Journ. of the Royal Inst. I. 31. J. de Phys. LXVI. 121. Gilb. Ann. XIII. 385.

[2]) Decade Philos. Ann. X. p. 210.

häufig zum Erwärmen der Zimmer. Es wird hierzu nichts weiter erfordert als ein verschlossener Siedekessel, aus welchem Röhren in die zu erwärmenden Räume geleitet sind, in denen der Dampf aufsteigt, und nachdem er seine Hitze abgegeben hat und in Wasser verwandelt ist, durch andere Röhren wieder in den Kessel zurückgeführt wird. Weil aus diesen Röhren beim Anfange der Heitzung die Luft ausgetrieben werden, und nach dem Abkühlen wieder in dieselben zurückkehren mufs, so bedarf es hierzu der Ventile, welche für diesen Zweck am besten Wasserventile sind. Leztere bestehen aus einer blofsen heberförmig gebogenen Röhre, in welcher sich das Wasser ansammelt.
Fig. 106] Wäre z. B. a das Ende der etwas geneigten Röhrenleitung, worin das aus dem Dampfe niedergeschlagene Wasser herabfliefst, so wird dieses nach c herabgebogen, dann wieder aufwärts nach b, und dort mit einer Ausgufsöffnung versehen. Ist die Quantität des Wassers grofs genug, so fliefst dasselbe aus der Oeffnung b in den Trichter α, und gelangt auf diese Weise wieder in den Siedekessel, bei der Abkühlung aber drückt die äufsere Luft gegen die Oeffnung b, hebt das Wasser bis fast zur Höhe von a und entweicht dann neben demselben, um die Röhren zu füllen, aus denen sie nachher durch den Dampf wieder ausgetrieben wird, das Wasser vor sich hertreibt und aus b entweicht. Ein ähnliches Ventil für den Siedekessel bietet die Röhre $\alpha\gamma\beta$ dar, durch welche das aus dem Dampfe hergestellte Wasser wieder in ihn zurückfliefst, beim Abkühlen aber sowohl Luft in denselben dringt, als im Anfange der Heitzung aus ihm entweicht. Da der Dampf für diesen Zweck keine höhere Spannung als die einer Atmosphäre erhält, so ist es unnöthig, die heberförmigen Röhren lang zu machen, und einige Fufse sind hinreichend, obgleich auf der andern Seite eine Wassersäule 32 F. hoch seyn mufs, um dem Drucke einer Atmosphäre das Gleichgewicht zu halten.

So wie die Luftheitzung §. 55 für Trockenstuben bei weitem die geeignetste ist, so kann in solchen Räumen, wo leicht entzündliche Substanzen, namentlich Schiefspulver, getrocknet werden sollen, nicht füglich eine andere als die Dampfheitzung angewandt werden, welche überhaupt wegen ihrer absoluten Gefahrlosigkeit und der damit verbundenen Anwesenheit des heifsen Wassers in den verschiedenen Räumen mehr Aufmerksamkeit und Anwendung verdient, als sie bisher gefunden hat. Hauptsächlich steht derselben die Kostspieligkeit der ersten Anlage im Wege. Die Lei-

tungsröhren des Dampfes dürfen nicht von Weifsblech, und überhaupt nicht blank seyn, weil solche Flächen die Ausstrahlung der Wärme zu sehr hindern. Tredgold, welcher über diesen Gegenstand klassisch ist[1]), empfiehlt nach seinen Versuchen kupferbraune eiserne Röhren, und zur Auffindung der Fläche = S, wodurch eine gegebene Menge Cubikfuſs Luft = C von der Temperatur = t zur Temperatur = T Cent. Graden in 1 Min. erwärmt werden soll, giebt er die Formel

$$S = \frac{0{,}48\,C\,(T - t)}{93{,}4 - T}.$$

Uebrigens sind die Röhren nicht die einzig mögliche Form für diese Heitzung, sondern der Dampf kann auch in eine Art Ofen geleitet werden, die dann die Räume erwärmen.

§. 96.

Weil die Luft unter jedem Drucke die Dämpfe in sich aufnimmt, so findet eine stete Verdunstung statt, wodurch die verdampfbaren Flüssigkeiten, und selbst das Eis, bei jeder Temperatur vermindert und allmälig ganz verzehrt werden. Die Verdunstung ist so viel stärker, je flüchtiger die Substanzen sind, und wird bei einer jeden derselben durch die Temperatur, die Gröſse der Oberfläche, die Trockenheit und geringe Expansion der Luft bedingt. Durch Verminderung der Temperatur erfolgen Niederschläge der im Maximo ihrer Dichtigkeit vorhandenen Dämpfe, und weil dieses auch bei dem in der Atmosphäre vorhandenen Wasserdampfe der Fall ist, dadurch aber die wässerigen Meteore (Hydrometeore) erzeugt werden, so hat man sich bemühet, die Quantität desselben durch das Hygrometer zu messen. Hierzu dienen die zahlreichen hygroskopischen Substanzen, welche aber durch die Länge der Zeit ihre Empfindlichkeit verlieren. Die festen Puncte dieser Art Hygrometer sind derjenige,

[1]) Principles of Warming and Ventilating. cet. Lond. 1821. 8. Uebersetzt von Kühn: Grundsätze der Dampfheitzung u. s. w. Leipz. 1826. 8.

welcher der gröfsten, durch Wasserdampf oder dicken Nebel erzeugten Feuchtigkeit zugehört, und derjenige der höchsten Trockenheit, wie sie durch erhitzten salzsauren Kalk oder durch kaustisches Kali hervorgebracht wird; ersteren bezeichnet man mit 100, lezteren mit 0. Einen grofsen Vorzug vor allen diesen älteren hat wegen der Regelmäfsigkeit seines Ganges und seiner beständigen Dauer das von Daniell angegebene Verdunstungshygrometer und noch mehr das neuerdings durch August in Vorschlag gebrachte Psychrometer, beide auf das Princip der Wärmebindung durch Verdunstung gegründet.

Der höchst bewegliche Wärmestoff verbindet sich überall begierig mit den tropfbaren Flüssigkeiten, und bildet mit ihnen Dampf, worauf das angegebene Mittel der Erzeugung künstlicher Kälte beruhet § 91. Indem der Wasserdampf leichter als Luft ist, und sowohl in dieser als auch im leeren Raume sich bis zum Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit ausbreitet, dann aber nicht weiter wahrgenommen wird, weil er eine gleiche lichtbrechende Kraft als die Luft besitzt §. 115., bis er durch Abnahme der Temperatur verdichtet in sichtbaren kleinen Kügelchen als Thau, Nebel, Regen u. s. w. wieder zum Vorschein kommt, fürher aber die Dichtigkeit desselben nicht genau bekannt war, und man also die grofse Quantität des oft plötzlich herabfallenden atmosphärischen Wassers nicht wohl zu erklären vermogte, so wurde viel über den eigentlichen Procefs der Verdunstung gestritten, und manche nahmen eine Auflösung, andere eine Verwandlung des Wassers in Luft an, welches alles jezt keine weitere Widerlegung verdient, da der Dampf einfach als eine Auflösung der Flüssigkeit im Wärmestoffe betrachtet werden kann. Hiernach ergeben sich dann die im § angegebenen Bedingungen der Verdunstung oder Dampfbildung von selbst, deren Stärke, wenn vom Wasserdampfe der Atmosphäre die Rede ist, vermittelst des *Atmometers* oder *Atmidometers* gemessen wird. Diese bestehen im Allgemeinen aus Gefäfsen mit Wasser, welche man dem freien Einflusse der Atmosphäre aussetzt, und dann die Gröfse der Verdunstung unter den verschiedenen Bedingungen nach der Quantität des verschwundenen Wassers bestimmt. Noch hat man indefs kein Instrument auf-

gefunden, welches die in der Natur gegebenen Bedingungen vollständig nachbildet; indefs geht so viel aus den Beobachtungen hervor, dafs die Quantität des verdunstenden Wassers und des aus der Atmosphäre wieder herabfallenden einander gleich sind.

Der Wasserdampf in der Atmosphäre kann den Zustand der Sättigung oder das Maximum seiner Dichtigkeit erreichen und oft unter demselben seyn, aber nie darüber hinausgehen, ohne in tropfbare Flüssigkeit verwandelt zu werden. Lezteres mufs bei jeder Abkühlung eintreten, sobald der Sättigungspunct schon wirklich vorhanden ist, und um daher in Voraus zu bestimmen, ob ein wässeriger Niederschlag, namentlich Regen, zu erwarten sey, bemühete man sich, den Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre vermittelst der *Hygrometer* zu messen, deren eine wahrhaft zahllose Menge in Vorschlag gebracht ist, von denen aber nur wenige ihrem Zwecke genügen.

1) Hygrometer aus dem Thierreiche sind das von *Molyneux* [1]) und Sturm [2]) aus Darmseiten, welches Brander nach Lambert's [3]) Grundsätzen zum Messen der Quantität des vorhandenen Wasserdampfes einrichtete. Lezteres geschieht nach dem Grade des Aufdrehens oder der Verlängerung dieser Substanz. Chiminello [4]) brachte einen mit Quecksilber gefüllten Federkiel in Vorschlag, in welchen eine Glasröhre gesteckt wird, um bei dessen Ausdehnung oder Zusammenziehung den Feuchtigkeitszustand aus dem Fallen und Steigen des Quecksilbers zu messen; Retzius [5]) schnitt denselben in einen schmalen Streifen, und mafs die Ausdehnung desselben unmittelbar. Giov. Bapt. da St. Martino [6]) schlug statt des lezteren einen Streifen Goldschlägerhaut vor, statt des Federkieles aber wählte Huth [7]) ein Stück Froschhaut und Wilson [8]) eine Rattenblase. Unter die besten animalischen Substanzen gehört ohne Zweifel die Seide, welche Casbois [9]), Par-

---

1) Acta Erud. Lips. 1686. p. 389.
2) Colleg. curios. Normib. 1676. 4.
3) Hygrometrie. A. d. F. üb. Augsb. 1774. 8. Fortsetz. 1775. 8.
4) Opuscoli scelti di Milano. IX. p. 1.
5) Lichtenb. Mag. IV. 163. V. 115.
6) Lichtenb. Mag. VI. 99.
7) Journ. von und für Deutschl. 1784. 473.
8) Ann. Chim. V. 307.
9) Journ. de Phys. XXIX. 349.

rot [1]) und Babinet [2]) empfehlen. Neuerdings hat man hauptsächlich nur das Haarhygrometer von de Saussure [3]) und das Fischbeinhygrometer von de Lüc [4]) gebraucht, welcher diesem einen Vorzug vor allen andern, auch vor dem von ihm selbst vorgeschlagenen aus Elbenbein [5]) beilegte. Das hierzu angewandte Haar ist ein blondes Menschenhaar, welches durch Sieden in etwas Salzwasser und Abspülen in reinem heifsen Wasser von seiner Fettigkeit gereinigt wird, der Fischbeinstreifen ist ein dünner und schmaler, nach den Längenfibern geschnittener; beide zeigen die Feuchtigkeit durch ihre Verlängerung an, und bewegen hierdurch einen Zeiger, welcher 100 Grade durchläuft, wovon das 0 den über austrocknenden Salzen erhaltenen Punct der gröfsten Trockenheit, 100 Grade aber den durch Wasserdämpfe oder Eintauchen in Wasser bestimmten Punct der gröfsten Feuchtigkeit bezeichnen. Beide harmoniren indefs in den zwischenliegenden Graden nicht, welches nebst andern Prüfungen ihre Anzeigen verdächtig macht, und es ist daher wenig für die Wissenschaft dadurch gewonnen, dafs Riche [6]) acht Haare zu nehmen und Babinet [7]) die Ausdehnung von drei Haaren mit einer Mikrometerschraube zu messen in Vorschlag gebracht hat.

2) Hygrometer aus dem Pflanzenreiche sind die alten, schon durch Leupold [8]) bekannten aus hanfenen Schnüren, aus Papierstreifen nach Dalencé [9]), aus hölzernen Brettchen nach Hautefeuille [10]), oder aus einem hölzernen, hohlen, mit Quecksilber gefüllten und mit einer eingesenkten Glasröhre versehenen Cylinder nach Leslie [11]), aus den Grannen des wilden Hafers nach Maignan [12]),

---

1) Theor. Phys. II. 421.

2) Ann. de Chim. et Phys. XXVI. 367.

3) Essay sur l'hygrometrie. Neufch. 1783. Vers. über d. Hygrometrie von J. D. T. (Titius). Leipz. 1784. Vergl. Biot Traité I. 335.

4) Idees sur la Météor. T. I. sect. I. ch. 3. u. a. v. O. namentl. Gren Journ. V. 279. VIII. 141.

5) Phil. Trans. LXIII. N. 38.

6) Journ. de Phys. 1789. p. 58.

7) Ann. Chim. et Phys. XXVI. 367.

8) Theat. aerost. C. VII. p. 288.

9) Traités des Barom., Therm. et Hygrom. Amst. 1688.

10) Pendule perpetuelle. Par. 1678. 4.

11) Kurzer Bericht u. s. w. Uebers. von Brandes p. 106.

12) Dalencé a. a. O.

aus Meergras nach de la Guerrande [1]), aus den Spitzen der Geranien nach Barbosa [2]), aus *arundo phragmites* nach Adie [3]), aus *andropogon contortus* [4]), aus Hanffäden u. v. a. Alle diese Substanzen sind zwar die wohlfeilsten, aber zugleich rücksichtlich ihrer hygroskopischen Eigenschaft die mindest dauerhaften.

3) Hygrometer aus dem Mineralreiche sind die ältesten, weil man an den Salzen am frühesten ihre Gewichtszunahme durch atmosphärische Feuchtigkeit wahrnahm. Dahin gehören der Badeschwamm in eine Salz- (Salmiak) Lösung getaucht, und an einem Waagebalken aufgehangen, ein sehr altes, später oftmals verbessertes Hygrometer. Desagulier's [5]) räth statt dessen Salze für sich in einem Schälchen aufzuhängen, wozu Lampadius [6]) Kochsalz, Grotthufs [7]) schwefelsaures Kali, Nicholson [8]) die Königs-Schmalte und Gould [9]) die verdünnte Schwefelsäure empfiehlt. Der hygroskopische Thonschiefer von Lowitz [10]) ist wegen seiner Seltenheit weniger in Anwendung gekommen, Hochheimer's [11]) Glastafel ist an sich unbrauchbar, und de la Rive's [12]) allerdings sinnreicher Vorschlag, die Menge der Feuchtigkeit aus der Erhitzung der Schwefelsäure an einem feinen Thermometer zu bestimmen ist praktisch nicht wohl ausführbar. Diese Classe von Hygrometern würde viel leisten, wenn es leicht, ja man darf bei einigen sagen, überhaupt nur möglich wäre, bei ihnen die festen Puncte zu bestimmen, und die Apparate gegen Staub zu schützen.

4) Der Hygrometer durch Verdunstung und Niederschlag giebt es nur drei, welche indefs in verschiedenen Formen dargestellt allein als brauchbare Apparate gelten können. Leslie's Differentialthermometer §. 83. wird zum Hygro-

---

1) Lichtenb. Mag. III. St 2. p. 159.
2) Memorias da Acad. R. de Lisboa. 1780—88. I. N. 10.
3) Edinb. Phil. Journ. I. 32.
4) Asiatic Reas. T. IX. N. II. et IX.
5) Exper. Phil. II. p. 300.
6) Beiträge zur Atmosphärol. p. 29.
7) Allgem. Nord. Ann. VIII. 217.
8) Journ. of Nat. Phil. VIII. 85.
9) Phil. Trans. N. 156.
10) Gött. Mag. III. Jahrg. St. 4 N. 2.
11) Leipz. Oek. Hefte. VIII. Hft. 5. Jahrg. 1738.
12) Bibl. univ. XXVIII. 285.

meter, wenn man die eine Kugel desselben mit Musselin überzieht, und Wasser darauf tröpfelt, welches so viel schneller verdunstet, je trockner die Luft ist, und daher die Flüssigkeit so viel tiefer sinken macht; indefs giebt dieser Apparat kein genaues Mafs der Quantität und ist daher kein Mefswerkzeug im strengsten Sinne, es sey denn, dafs die Grade desselben wirkliche Thermometergrade wären, in welchem Falle derselbe dem sogleich zu beschreibenden Psychrometer ähnlich, und also auch auf gleiche Weise zu behandeln wäre. Indefs ist es nicht blofs schwer sondern eigentlich unmöglich, mit demselben zugleich die Wärme der atmosphärischen Luft und den Temperaturunterschied der trocknen und der befeuchteten Kugel zu messen. Daniell's [1]) Hygrometer gründet sich auf ein schon von der Academie del Cimento[2]), Fontana[3]) und Le Roy[4]) angewandtes Verfahren, ein Glas oder Gefäfs so weit abzukühlen, dafs an einem wärmeren Orte sich Feuchtigkeit aus der Atmosphäre darauf niederschlägt. Dieses mit Wollaston's Kryophorus vereint, giebt das Daniellsche Hygrometer. *In der durch Greiner verbesserten Gestalt be-
Fig. 107] steht dasselbe aus einer mit Aether halb gefüllten Kugel a, in deren Mitte sich die Kugel eines feinen Thermometers befindet, und welche eine diese umgebende blank vergoldete Zone hat. Sie steht durch eine 1,5 bis 2 Lin. weite Röhre mit der zweiten Kugel b in Verbindung, welche mit Musselin überzogen ist. Beide Kugeln sind luftleer, und wenn man daher etwas Aether auf den Musselin tröpfelt, und dieser durch Verdunstung eine starke Kälte erzeugt, so strömen die Dämpfe aus der Kugel a in dieselbe, kühlen diese ab, und ein feiner wässeriger Niederschlag erscheint auf der vergoldeten Oberfläche. Man nennt dann den Punct, wenn die ersten Spuren hiervon zum Vorschein kommen, den Thaupunct, und nimmt an, dafs die Temperatur, welche das Thermometer in der Kugel a in diesem Augenblicke zeigt, dem Maximo der Dichtigkeit des atmosphärischen Wasserdampfes zugehöre. Indem dann das Thermometer in der Säule cd die Wärme der Luft zeigt, so giebt der Unterschied beider an, wie tief die Temperatur bis zur Ent-

---

[1]) Mém. of the Phil. Soc. of Manchester. V. p 86. Meteorolog. Essays and Observations. Lond. 1823. p. 139.

[2]) Tentamina Exper. nat. cet. ed. Musschenbroek. 1731. 4.

[3]) Saggio del Real Gabinetto di Firenze. p. 19.

[4]) Mém. de l'Acad. 1751.

stehung eines wässerigen Niederschlages herabgehen müsse. Unter den verschiedenen andern Constructionen dieses Hygrometers erwähne ich nur diejenige, wonach dasselbe aus einem einzigen feinen Thermometer besteht, dessen Kugel mit einer doppelten Lage Musselin umgeben, und worüber dann ein vergoldeter Ring geschoben wird. Tröpfelt man vorsichtig etwas Aether auf den Musselin, so sinkt das Thermometer auf den Thaupunct, und der Niederschlag zeigt sich auf dem Ringe [1]).

Das durch August angegebene Psychrometer [2]) beruhet auf gleichen Grundsätzen, als das Differentialthermometer Leslie's, mit dem Unterschiede, daſs es eine absolute Messung der Temperatur mit Leichtigkeit gestattet. Zwei
Fig. 108] feine Thermometer a und b, welche durch Ringe in den gemeinschaftlichen Trägern pq und rs herabgelassen sind, geben, das eine a die Temperatur der Luft, das andere b die Verdunstungskälte gleichzeitig an, sind zu gröſserer Genauigkeit der Beobachtungen nur von etwa — 20° R. bis + 30° R. in Zehntel oder Fünftel eines Grades getheilt, und müssen auſserdem eine kleine Kugel haben, um jede Veränderung der Temperatur schnell zu zeigen. Unter dem einen befindet sich das, auf eine schickliche Weise am Gestelle befestigte und mit reinem Wasser gefüllte gläserne Gefäſs e, aus welchem in einer gläsernen Röhre ein Streif Badeschwamm hinaufgeht, und in α die Thermometerröhre berührt, welche von hieran nebst der Kugel γ mit einer Lage Musselin überzogen ist. Indem dann das Wasser von dem Schwamme aufgesogen und durch Berührung diesem Musseline mitgetheilt wird, so erhält es diesen fortdauernd naſs, ohne abzutröpfeln, und giebt dem Thermometer durch Entziehung der Wärme in Folge der Verdunstung die der lezteren zugehörige Temperatur, welche so viel tiefer herabgeht, je trockner die Luft ist, und je begieriger sie daher den erzeugten Wasserdampf aufnimmt.

Es ist nicht streitig, daſs auſser denen dieser lezten Classe die der drei übrigen nicht als eigentliche und genaue Hygrometer gelten können, weil ihre Anzeigen insgesammt den Graden der in der Atmosphäre enthaltenen Feuchtigkeit nicht proportional sind, vielmehr diesen meistens zuvoreilen, und auſserdem verlieren die sämmtlichen aus den drei Naturreichen angewandten hygroskopischen Substanzen in nicht sehr

---

[1]) Vergl. v. Bohnenberger in Naturwiss. Abh. II. 164.

[2]) Gilb. Ann. LXXXI. p. 69. LXXXIX. 125. XC. p. 137.

langer Zeit diese ihre Eigenschaft almälig bis zum fast gänzlichen Verschwinden, mit Ausnahme der Salze, deren Anwendung aber durch die anderen angegebenen Hindernisse beschränkt wird. Wäre dieses nicht der Fall, so ließe sich vermittelst derselben und gleichzeitiger Anwendung eines Thermometers die Dichtigkeit und Elasticität des Wasserdampfes in der Atmosphäre finden, indem sie der Voraussetzung nach den Grad der Sättigung mit demselben durch den Stand ihres Zeigers nach Hundertsteln angeben. Wäre also der Thermometerstand zur Zeit der Beobachtung $= t$ und zeigte das Hygrometer zugleich auf γ, so giebt die §. 93. mitgetheilte Tabelle die dieser Temperatur zugehörige Dichtigkeit des Wasserdampfes im Maximo gegen Wasser $= d$ und gegen Luft bei 0° C. und unter einem Drucke von 28 Z. Quecksilber $= d'$, und es wäre sonach die Dichtigkeit des atmosphärischen Wasserdampfes $\delta = d\,\frac{\gamma}{100}$ und gegen Luft $\delta' = d'\,\frac{\gamma}{100}$. Setzen wir $t = 25^\circ$ C.; $\gamma = 64$ Grade des Hygrometers, so ist $d = 0{,}000022$, also $\delta = 0{,}000022 \times 0{,}64 = 0{,}00001408$; $d' = 0{,}01716$, und also $\delta' = 0{,}01716 \times 0{,}64 = 0{,}0109824$. Soll diese leztere Größe für die gemessene Temperatur und einen Barometerstand $= 27{,}5$ Z. $= h$ corrigirt werden, so giebt die §. 93. mitgetheilte Formel $= \frac{28}{h}\,(1 + 0{,}00375\,t)$, womit dieselbe multiplicirt werden muß, $\delta' = 0{,}0109824 \times 1{,}1136\ldots = 0{,}01223\ldots$ als die gesuchte Größe. Vergleicht man endlich jenen uncorrigirten Werth von δ' mit den in der Tabelle unter d' angegebenen, so liegt er zwischen den für 15 und für 20° C. gehörigen; nach genauerer Interpolation gehört er zu $17^\circ{,}8$ C. und bis soweit müßte also die Temperatur herabgehen, wenn ein Niederschlag erfolgen sollte. Allein selbst die besseren Hygrometer von de Saussure und de Lüc sind aus den angegebenen Gründen zu unsicher, als daß es der Mühe werth wäre, diese Berechnungsmethode auf sie anzuwenden, da die durch beide angezeigten Grade ohnehin nicht mit einander über einstimmen, und daher auf einander reducirt zu werden pflegen, welches ich indeß aus gleichen Gründen hier übergehe.

Die einzigen brauchbaren Hygrometer sind also das Daniell'sche und das Psychrometer, und es ist daher allerdings der Mühe werth, die Methode der Messung mit diesen ge-

nau zu kennen. Werden beide mit einander verglichen, so zeigt sich, dafs die Temperatur des entstehenden Niederschlags bei ersterem allezeit tiefer ist, als die des befeuchteten Thermometers bei lezterem, und es fragt sich daher, welche von beiden den eigentlichen Thaupunct angebe. Man nimmt allgemein an, dafs dieses durch ersteres geschehe [1]) und August hat daher selbst sowohl Formeln angegeben, um die Angaben seines Psychrometers auf die des Daniell-schen Hygrometers zu reduciren, als auch Tabellen für diesen Zweck berechnet. Ist nämlich die Temperatur des befeuchteten Thermometers nach der 8otheil. Skale [2]) $= t'$ bekannt, so ist nach der durch August aufgefundenen Formel die zugehörige Elasticität des Wasserdampfes in par. Lin., wenn diese e genannt wird,

$$\log. e = 0{,}3506511 + \frac{7{,}9817243\, t'}{213{,}4878 + t'}.$$

Und wenn dann hieraus die dem Thaupuncte des Daniell-schen Hygrometers zugehörige Elasticität $= e'$ gefunden werden soll:

$$e' = \frac{e - 0{,}0009729\,(b - e)\,(t - t')}{1 + 0{,}001925\,(t - t')}$$

wenn b den auf 0° reducirten Barometerstand in par. Lin. und t die durch das trockne Thermometer angegebene Lufttemperatur bezeichnet. Es läfst sich dann durch die Umkehrung der ersten Formel leicht diejenige Temperatur finden, welcher diese Elasticität $= e'$ zugehört, oder der eigentliche Thaupunct des Daniell'schen Hygrometers, denn wenn dieser $= t''$ genannt wird, so ist

$$t'' = 213{,}4878\, \frac{\log. e' - 0{,}3506511}{8{,}3323754 - \log. e'}.$$

Man kann ferner zur Bequemlichkeit bei einzelnen Beobachtungen leicht Tabellen für die Werthe von e nach diesen oder etwas abgekürzten Formeln berechnen, allein da die auf solche Weise erhaltenen Werthe nur sehr unbedeutend von denen abweichen, welche in der oben §. 93. mitgetheilten Tabelle enthalten sind, die Grade der Thermometer aber leicht auf einander reducirt werden können,

[1]) Vergl. Baumgartner in Zeitschr. für Phys. und Mathem. IV. p. 50. v. Bohnenberger in Naturwiss. Abh. II. 179.

[2]) Diese Grade behalte ich um so mehr bei, da die vorzüglich brauchbaren Psychrometer von Greiner in Berlin im Preise von 15 Rthlr. preufs. Cour. diese Eintheilung haben, und die Reduction ohnehin leicht ist.

so erhält man aus jenen die der am feuchten Thermometer beobachteten Temperatur zugehörige Elasticität unmittelbar, welche in die zweite Formel gesetzt, und b zugleich in par. Zollen ausgedrückt, den gesuchten Werth von e' giebt, vermittelst dessen in der nämlichen Tabelle der Thaupunct aus der ihr zugehörigen Temperatur in Cent. Graden ohne Weiteres gefunden wird, die sich leicht wieder, wenn man will, in 80theil. verwandeln lassen. Indeſs glaube ich, daſs nicht das Daniellsche Hygrometer, sondern vielmehr das Augustsche Psychrometer den eigentlichen Thaupunct angiebt, wenn um die befeuchtete Kugel des lezteren nicht bei gänzlicher Windstille die mit Wasserdampf gesättigte Luft sich bleibend erhält, sondern ein mäſsiger Luftzug den gebildeten Dampf jederzeit wegführt, und zur Bildung von neuem Wärme absorbirt wird. Beim Hygrometer muſs nämlich allezeit ein wirklicher Niederschlag gebildet werden, welcher zwar ausnehmend fein, aber im Verhältniſs zur geringen Dichtigkeit des Wasserdampfes in der Atmosphäre immerhin dicht genug ist, um einer bedeutenden Menge der umgebenden Luft den Inhalt hieran zu entziehen, wobei das Thermometer in der Kugel nothwendig unter den Thaupunct (oder diejenige Temperatur, welcher das Maximum der Dichtigkeit des atmosphärischen Wasserdampfes zugehört) herabgehen muſs. Das befeuchtete Thermometer am Psychrometer dagegen giebt die Wärme so lange zur Dampfbildung ab, bis kein neuer mehr gebildet werden kann, weil sonst bei niedrigerer Temperatur sich vielmehr Wasserdampf darauf ablagern würde. Ist dieser Satz richtig, wie weitere Untersuchungen erst entscheiden mögen, so bedarf dieses Instrument gar keiner Reduction, und die in der angegebenen Tabelle enthaltenen Werthe geben unmittelbar die den beobachteten Thaupuncten zugehörigen Elasticitäten und Dichtigkeiten. Auf allen Fall ist das Psychrometer ungleich leichter und sicherer zu beobachten, als das Hygrometer, weil bei lezterem das Thermometer so schnell sinkt, und der Anfang des entstehenden Niederschlages so schwer beobachtet wird, daſs es unmöglich ist, selbst auf einige Grade C. völlige Genauigkeit zu erhalten.

§. 97.

Es läſst sich nicht auf gleiche Weise, als bei den Dämpfen darthun, daſs auch die Gasarten ihre bleibende Expansion dem Wärmestoffe verdanken. Den-

noch aber berechtigt die Aehnlichkeit ihrer äufsern Charaktere, die Art des Entstehens einiger derselben und die bei ihrer Zersetzung oft sehr grofse Wärme-Entbindung zu dem Schlusse, dafs auch diese hierin den Dämpfen ähnlich zu achten sind.

In Gasgestalt erscheinen einige unzerlegte Körper, als Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, und einige für sich nicht in Gasgestalt darstellbare, wenn sie mit einem von diesen verbunden sind, z. B. das kohlensaure und hydrothionsaure Gas, worin also bei jenem das Sauerstoffgas, bei diesem das Wasserstoffgas als Ursache der Expansion anzusehen ist. Die bis jetzt bekannten Gase können insgesammt auf eine solche Weise erhalten werden, dafs sie aus dem Zustande der Festigkeit oder des tropfbar Flüssigen entstehen, woraus folgt, dafs keine dieser Gestalten einer gewissen Classe von Körpern absolut eigen ist. So wird Sauerstoffgas aus dem Braunsteine durch Glühen, Wasserstoffgas und Sauerstoffgas aus Wasser durch die Einwirkung der Elektricität erhalten. Eben so, wie sie aus diesen Zuständen hervorgehen, kehren sie auch in dieselben wieder zurück.

Ueber die eigentliche Ursache der Gasform sind viele Untersuchungen angestellt. Nach den ältesten Ansichten besteht die Luft, die man für den einzigen gasförmigen Körper hielt, aus kleinen Kügelchen, welche durch eine ätherartige Substanz auseinander gehalten werden. Le Sage [1]) dagegen wollte die Expansion aus einem fortdauernden Stofse der sie bildenden absolut elastischen Kügelchen ableiten. Newton [2]) nimmt zur Erklärung des der Gasform abstofsende Kräfte an, welche über die Anziehenden ein Uebergewicht haben sollen, ohne das Verhältnifs dieser beiden Kräfte genauer zu bestimmen, und eine gleiche Ansicht hegen verschiedene Anhänger der Kantischen Dynamik. Es fällt dieses nahe zusammen mit der gangbarsten Ansicht, welche hauptsächlich La Place [3]) aufgestellt hat, nämlich dafs alle Gase aus festen Elementartheilchen (Atomen) bestehen, welche durch den Wärmestoff, als repulsives Princip, auseinander gehalten werden. Sowohl La Place selbst

---

1) Deux Traités de Phys. méc. publ. par Prevost. Par. 1818. 8.

2) Phil. Nat. Princ. math. II. prop. 23. Vergl. Opticc. qu. XXXI. p. 320. ed. Clarke.

3) Ann. Chim. et Phys. XVIII. 181. und 273. Mecan. Cel. V. p. 104.

als auch hauptsächlich Poisson [1]) und Ivory [2]) haben aus dieser Hypothese verschiedene Folgerungen hergeleitet, welche die den Gasen eigenthümlichen Gesetze des Verhaltens mit überraschender Uebereinstimmung erklären. Die schwierige Frage übrigens, ob die Atome aller Gasarten gleich grofs und gleich schwer sind, und in welchem Verhältnifs diese Gröfse zu der Gröfse ihrer Wärmeatmosphären stehe, ist bis jetzt noch nicht genügend entschieden [3]).

B) Licht.

§. 98.

Das Licht, dessen Anwesenheit und Stärke wir durch den Sinn des Gesichts erkennen und messen, ist zunächst einziges Mittel der Erleuchtung, zeigt sich aber noch aufserdem als erwärmende und chemisch wirkende Potenz.

Ueber die völlige Abwesenheit des Lichtes können wir eben so wenig als über den absoluten Nullpunct des Thermometers urtheilen, indem wir die Stärke des Lichtes dem Reitze proportional setzen, welchen es gegen unser Auge ausübt, zunehmende Dunkelheit oder Finsternifs aber dann annehmen, wenn das Auge den Lichtreitz minder stark oder gar nicht mehr empfindet. Zugleich ist aber unser Auge so eingerichtet, dafs es durch einen stärkeren Reitz gegen einen schwächeren unempfindlich wird, und ob es sehr schwache überhaupt wahrzunehmen vermöge, ist daher zweifelhaft. Weil aber das Licht durch manche Körper auch bei geringerer Dicke bedeutend zurückgehalten wird, so ist anzunehmen, dafs es diese in gröfserer Dicke gar nicht durchdringt, und dafs auf diese Weise absolute Abwesenheit des Lichtes erhalten wird.

Das Licht an sich, sofern von seiner erwärmenden Kraft nicht die Rede ist, wird blofs durch den Sinn des Gesichtes wahrgenommen, welches man Sehen nennt. Lezteres kann an sich durch keinen andern Sinn ersetzt werden, wohl aber unterscheidet das Gefühl die Form und sonstige Eigen-

---

[1]) Ann. de Chim. et Phys. XXIII. 337. und 407.
[2]) Phil. Mag. LXVI. 1. ff.
[3]) Vergl. Gmelin in Art. Gas. Gehler's Wörterb. IV. p. 1077.

schaften verschiedener Körper, und dieses kann nur verstanden werden, wenn vom Lesen durch die Fingerspitzen u. s. w. die Rede ist; alle hiermit nicht übereinstimmende Behauptungen sind Betrügereien [1]. Farben an sich können durch das Gefühl nicht erkannt werden, in einigen Fällen jedoch gefärbte Stoffe in Folge eigenthümlicher Beschaffenheit der Pigmente [2])

Dafs das Licht erwärmt, ist allgemein bekannt §. 86, und eben so der chemische Einflufs desselben, namentlich in Erzeugung der Farben bei den Gewächsen und in der Zerstörung derselben in gefärbten Stoffen oder das sogenannte Verbleichen, wohin auch die Färbung des Hornsilbers gehört. Eine nähere Untersuchung dieser Erscheinungen S. §. 148.

§. 99.

Das Licht wird von so vielen Körpern und durch so mannigfache Bedingungen entbunden, dafs man diese Fähigkeit für sehr allgemein und nur durch wenige Ausnahmen beschränkt ansehen darf. Indefs lassen sich leicht die stets Licht gebenden, oder sogenannten selbstleuchtenden Körper von den dunkeln unterscheiden, welche nur unter gewissen Modificationen oder überhaupt kein Licht entwickeln.

Stets und absolut selbstleuchtende Körper sind blofs die Fixsterne. Ob auch die Kometen hierunter gehören, oder ob ihre selbstleuchtende Kraft durch den Impuls der Sonnenstrahlen aufgeregt wird, ist noch unerwiesen, Lezteres aber in sofern nicht wahrscheinlich, als es stets leuchtende kometarische Nebelflecke giebt [3]). Wie dieses unausgesetzte Leuchten zu erklären sey, ist oft gefragt Einige halten mit Newton [4]) die Sonnen für stark glühende Körper, wonach die Erscheinung mit irdischen Beobachtungen zusammenfiele. Hierfür könnte das Argument angeführt wer-

---

1) Z. B. der Mac. Evoy in Ann. of Phil. X. 286. Vergl. Rudolphi Grundr. d. Physiol. II. 63.

2) Rob. Boyle Phil. Works II. 11. L. v Baczko Ueber mich selbst und meine Leidensgef., d. Blinden. Leipz. 1807. p. 77. Zeune's Belisar. Berl. 1822. p. 17 u. 122.

3) Schubert pop. Astr. III. 135.

4) Optice ed. Clarke, p. 275.

den, dafs die Sonne, ungeachtet ihrer ungeheuern Gröfse, dennoch kaum den vierten Theil der Dichtigkeit unserer Erde hat. Andere halten mit Herschel die Sonne für einen dunkelen, mit einer Lichtatmosphäre umgebenen Körper, von welcher lezteren stets die erforderliche Quantität zur Erhellung der Planeten ausströme. Ob aber eine Kraft oder Ursache denkbar sey, welche einen so über alle Vorstellung elastischen Stoff, als das Licht nach der Gröfse seiner Bewegung seyn mufs, um die Sonne festhalten könne, und gerade nicht mehr, als erforderlich ist, davon ausströmen lasse, glaube ich bestimmt verneinen zu müssen.

Ausscheidung des Lichtes, wodurch die Körper zu Selbstleuchtern werden, bewirkt das Verbrennen § 86 und dasjenige Verhalten der Körper, welches mit diesem im Wesenslichen zusammenfällt. Daher bewirkt eine Lichtentbindung für kurze Zeitdauer die schnelle chemische Verbindung der unterschiedensten Körper, z. B. explodirender Substanzen, mehrerer Metalle, sowohl im Chlor als mit einander mit Schwefel u. s. w. [1]) und solcher Körper, welche bei ihrer Mischung glühend werden. In geringerer Quantität wird das Licht durch schnelle Compression ausgeschieden, z. B. aus Wasser nach Dessaignes [2]) aus Luft, und wahrscheinlich durch hinlänglich starken und schnellen Druck oder einen heftigen Schlag aus allen Körpern, durch geringeres Reiben oder Schlagen mit einem hölzernen oder stählernen Hammer aus vielen Substanzen, hauptsächlich den sogenannten Phosphoren, Zucker und mehreren Edelsteinen [3]). Hauptsächlich leuchten viele Diamante schon beim blofsen Reiben mit Wolle, beim Bürsten, oder wenn man zwei aneinander reibt, und ihr Leuchten dauert eine geraume Zeit fort. Die durch Reiben erzeugte Lichtentwickelung, hauptsächlich wenn jenes mit Wärme verbunden ist, zeigt sich bei vielen Körpern, am leichtesten und auffallendsten vermittelst Flufsspath und Kreide, wenn man sie an einem erhitzten Körper reibt. Dahin gehört vermuthlich das Windbüchsenlicht [4]). Nur stark geladene Windbüchsen zeigen beim Losschiefsen im Dunkeln diesen Schein, wel-

[1]) S. Gehlen in Schweigg. Journ. XX. 353. v. Crell chem. Ann. 1793. II. 383.

[2]) Journ. de Phys LXXIII. 41.

[3]) Vergl. Gren Journ. VII. 45.

[4]) Gilb. Ann. VIII. 338. XI. 344. Voigts Mag. 1802. 4. 6. Gehlen VIII. 70.

cher indefs oft mit auffallender Stärke des Lichtes zum Vorschein kommt. Man leitet dasselbe aus der dabei stattfindenden Compression derjenigen Luft ab, in welcher die aus der Windbüchse strömende sich verbreitet. Merkwürdig ist indefs, dafs nach Dessaignes [1]) und anderen die Luft, welche eine über einen gläsernen Cylinder ausgespannte Blase zerreifst und in den leeren Raum stürzt, einen so viel stärkeren Schein verbreitet, je gröfser das Vacuum vorher war, welches jedoch wohl weniger von der Ausdehnung, als vielmehr der Zusammenpressung der einstürzenden Luft herrührt, deren Geschwindigkeit, und somit auch Kraft der Bewegung, so viel gröfser ist, je weniger Luft noch in dem Gefäfse zurückblieb §. 56. Schon früher hat Leysser [2]) und neuerdings hauptsächlich Hart [3]) durch eine Reihe von Versuchen zu beweisen gesucht, das das Leuchten vom Reiben kleiner Körperchen, als Staub, Sand u. s. w., im Laufe der Büchse abzuleiten sey, jedoch ist dieses vermuthlich nur deswegen der Fall, weil diese, gegen die Luft geschossen, die Compression derselben, und damit die Ausscheidung des Lichtes befördern oder wenigstens erleichtern, womit Schweigger's Erfahrung übereinstimmt, dafs vor die Mündung gehaltener Draht und Quarzdrusen die Lichtentwickelung hervorrufen.

Von gröfster Wichtigkeit in Beziehung auf die Theorie ist das sogenannte Leuchten durch Insolation. Verschiedene Körper nämlich werden dadurch leuchtend, dafs sie das am Tageslichte, oder durch Elektricität eingesogene Licht im Dunkeln wieder ausstrahlen, u. z. schneller, wenn sie erwärmt werden. Am stärksten findet sich dieses Vermögen bei einigen Diamanten, beim Baryt [5]) (Bononischer Leuchtstein), Kalk und Strontian, wenn sie mit Schwefel verbunden sind [6]) (Kanton's Phosphor) und überhaupt leuchtet vorzugsweise der Kalk in seinen verschiedenen Verbindungen (Hombergs und Balduins [7]) Phosphor), der Chlorophan oder Pyrosmaragd nach Grothufs [8]), welcher noch dazu eine

---

[1]) Gilb. Ann. XL. 310.
[2]) Gilb. Ann. VIII. 340.
[3]) Quart. Journ. of Sc. XV. 64. Ann. Chim. et Phys. XXII. 437.
[4]) S. dessen Journ. XL. 22.
[5]) S. Marggraf chem. Schriften II. 133.
[6]) S. phil. trans. LIII.
[7]) S. Balduini magnes luminaris Fr. 1672.
[8]) S. Schweigg. J. XIV. und XV. Scherer nord. Beitr. I. 13.

quantitativ meſsbare Ausströmung des Lichtes wahrgenommen haben will. Rein dargestellt leuchten alle drei Erdarten nach den bisherigen Versuchen gar nicht, nach gehöriger Bereitung ist indeſs das Leuchten sehr leicht im Dunkeln wahrnehmbar, und auffallend stark. Der Bononische Leuchtstein, ein vorzüglicher Lichtsauger, wird erhalten, wenn man aus eisenfreiem Schwerspathpulver und Tragantschleim dünne, linsenförmige Kuchen von 1 bis 1,5 Z. Durchmesser formt, diese zwischen kleinen Kohlen in einem guten Windofen 1 Stunde glühen läſst, und noch warm in gut verschlossene Gläser zum Aufbewahren bringt. Canton's Phosphor wird bereitet, wenn man Austerschalen eine halbe Stunde glühet, das Weiſseste an denselben als Pulver abschabt, dann mit Schwefelpulver in einem Tiegel geschichtet wenigstens eine Stunde glühet, und demnächst das weiſseste Pulver in ganz verschlossenen Glasröhren aufbewahrt. Noch bessere Leuchtsteine lassen sich nach Osan [1]) durch Arsenikverbindungen herstellen, z. B. arseniksaures Kali mit salpetersaurem Baryt nach Art des bononischen Steines bereitet; Austerschalen mit Realgar geglühet, wie Canton's Phosphor, oder mit Schwefelantimon. Unter die merkwürdigsten Lichtmagnete gehört hauptsächlich eine bräunliche Art Fluſsspath von Nertschinsk in Siberien, Chlorophan oder Pyrosmaragd genannt, nach den Beobachtungen von Pallas [2]) und vorzüglich von Grotthuſs [3]). Lezterer fand, daſs dieser Leuchtstein nach der Insolation beliebig lange in der Kälte liegen konnte, ohne seine Leuchtkraft zu verlieren, welche durch steigende Wärme in erhöhetem Grade wieder zum Vorschein kam, dann aber sich verlor. Nach diesen interessanten Versuchen kann man nicht anders als annehmen, daſs das durch Insolation aufgenommene Licht almälig bis zum gänzlichen Verschwinden durch Wärme wieder ausgeschieden wurde. Aehnliche Beobachtungen sind von Helvig [4]), John [5]) und vorzüglich Osan [6]) gemacht, ersterer indem er luftleere gläserne Kugeln (Knallbomben) an Orten zerschellte, wohin kein

---

1) Kastner Arch. IV. 318.
2) Mém. de l'Acad. de Petersb. 1783.
3) Schweigg. Journ. XIV und XV. Scherer Nord. Beitr. I. 13.
4) Gilbert Ann. LI. p. 112.
5) Ebend. LV. p. 153.
6) Kastner's Archiv V. p. 88.

Tageslicht kam, und dort auch keinen Lichtschein bemerkte, welcher an früher beleuchteten Orten nie ausblieb.

Nicht alle Körper leuchten gleich stark, vielmehr nimmt der leuchtende Schein bis zum gänzlichen Verschwinden bei den verschiedenen Körpern ab. Gar kein Leuchten zeigt sich bei allen tropfbar flüssigen Körpern, dem Schwefel, den regulinischen Metallen, den frischen Pflanzen und allen zum gröfsten Theile aus Kohlenstoff bestehenden Substanzen. Das Leuchten ist am stärksten, wenn die Bestrahlung durch helles Sonnenlicht 10 bis 15 Sec. gedauert hat; eine länger dauernde bringt keine stärkere Wirkungen hervor, wohl aber eine blofs augenblickliche, eine geringere. Die stärksten Leuchtsteine leuchten selbst nach der Bestrahlung durch Kerzenlicht, der Cantonsche Leuchtstein und einige Diamante selbst durch Mondenlicht. Auf allen Fall wird das Leuchten am stärksten durch die violetten und blauen Strahlen hervorgerufen, mit abnehmender Stärke oder ganz verschwindend nach den rothen hin, ohne Mitwirkung der Temperatur, welche vielmehr störend wirkt, wenn sie höher steigt. Die Farbe des Lichtes, welches die Leuchtsteine nach der Bestrahlung zeigen, ist theils weifs, theils röthlich, gelblich, bläulich, grünlich, steht in keiner ursprünglichen Verbindung mit der Farbe des bestrahlenden Lichtes, auch ändert sie sich nicht, wenn das Leuchten durch den elektrischen Funken oder überhinströmendes elektrisches Licht hervorgerufen wurde. Endlich zeigt sich das Leuchten auf gleiche Weise in allen Medien, welche die Beschaffenheit der Substanzen nicht verändern, und nicht zerstörend auf dieselben wirken, z. B. in den verschiedenen Gasarten, im Wasser u. s. w. und die Substanzen behalten ihre Leuchtkraft selbst so lange, als sie nicht wesentlich verändert werden, z. B. der Cantonsche Leuchtstein in ganz verschlossenen Glasröhren unausgesetzt.

Ein Leuchten zeigen ferner verschiedene lebende Thiere, hauptsächlich die Leuchtkäfer, Johanniswürmchen (Lampyris noctiluca [1])), bei welchen eine am unteren Theile des Leibes befindliche gelbe oder grünlich-gelbe Substanz die Erscheinung hervorbringt. Dahin gehört auch das Leuchten des Meeres, welches von der grofsen Zahl der darin lebenden Mollusken herrührt. Nach Heinrich sollen diese Thiere Phosphorwasserstoffgas ausstofsen, und dadurch

---

[1]) Macaire in Ann. de Chim. XVII. 251. Brewster ebend. XIV. 288. u. v. a.

den Lichtschein hervorbringen, nach andern ist dieses eine Folge ihres Lebensprocesses [1]), vielleicht ist auch zuweilen anfangende Fäulniſs mitwirkend. Verschiedene Thiere nämlich, hauptsächlich Fische und Mollusken, auch Krebse, leuchten kurze Zeit nach ihrem Tode vor der eigentlichen Fäulniſs. Pflanzentheile, namentlich Hölzer, welche an feuchten Orten langsam zerstört werden, und dabei weiſs bleiben, zeigen im Dunkeln mehrere Tage lang einen sehr hellen Lichtschein, desgleichen hat man keimende Kartoffeln beim Durchschneiden leuchtend gesehen [2]), so wie auch andere Wurzeln und Früchte [3]). Einige frische Pflanzen zeigen zuweilen ein plötzliches Aufblitzen von Licht, wie Linné [4]), Johnson [5]) u. a. beobachtet haben. Am auffallendsten ist aber das oft lange anhaltende und starke Leuchten der *Rhizomorpha subterranea* [6]), da sonst nur wenige lebende Pflanzen diese Eigenschaft zeigen. Nicht selten leuchtet der Schweiſs der Menschen so stark, daſs die abgelegte Wäsche zu leuchten fortfährt [7]), welches eben wie das Leuchten des Urins [8]) aus einem, meistens durch den Geruch kenntlichen Gehalte an Phosphor erklärlich wird. Endlich zeigen einige Salze, jedoch nur dann, wenn sie aus ihren Lösungen krystallisirt sind, ein mehrere Stunden anhaltendes Leuchten, indem sie theils einzelne Funken schieſsen, theils einen Lichtschein verbreiten. Insbesondere ist diese Eigenschaft durch Pickel, Schönwald, Giobert, Herrmann, Berzelius und Wöhler beim schwefelsauren Kali beobachtet [9]).

Auf welche Weise diese gesammten Lichtentbindungen zu erklären seyn mögen, ist oft untersucht. Nach der Emanationstheorie müſste man die Lichtmaterie in den verschiedenen Körpern anwesend voraussetzen, welche dann durch die verschiedenen Ursachen ausgeschieden und frei würde. Wenn man aber hierbei bloſs auf die Lichtentwickelung

---

1) Vergl. Tilesius in Gilb. Ann. LXI. 1 u. 113.
2) Schweigg. Journ. XIII. 207. Gren Journ. d. Phys. II. 429.
3) Kortum in Voigt Mag. II. 67.
4) Schwed. Abh. XXIV. 291.
5) Schweigg. Journ. XXXI. 381.
6) Verhandl. d. Ges. Nat. Fr. 1824. I. p. 222. Schweigg. Journ. N. F. XIII. 203. XIV. 65.
7) Magaz. d. Gesellsch. Naturf. Fr. II. 248. u. a. a. O.
8) Gilb Ann. XLIX. 231. LIX. 262.
9) S. Berzelius Jahresbericht. 1825. p. 44.

durch Glühen (Kerzenlicht) Rücksicht nimmt, so ist kaum vorstellbar, welche Kräfte eine solche Menge Licht so anhaltend in den leuchtenden Substanzen als gebunden oder im eigentlichen Sinne als Nichtlicht erhalten haben könnten. Es scheint die hauptsächlich durch Biot unterstützte Hypothese, daſs das Licht in den Körpern zur Wärme gebunden werde, und nacher in seiner ursprünglichen Beschaffenheit wieder zum Vorschein komme, hier auszuhelfen; allein die Wärme ist eben so wenig, als das Licht in den Körpern vorhanden, sondern beide kommen erst durch den Proceſs des Glühens zum Vorschein, und sollten beide in einander übergehen, so müſste ebensogut dann Wärme gebunden werden, wenn sie in der Gestalt des Lichtes zum Vorschein kommt, als umgekehrt das Licht beim Uebergange zur Wärme verschwindet, welches indessen den Thatsachen widerstreitet, indem vielmehr beide Potenzen, jede in ihrer Eigenthümlichkeit, zum Vorschein kommen. Dabei bleibt dann die Wärme ganz ihrem bekannten Verhalten getreu, und geht in meſsbaren Mengen nach den darüber bestehenden Gesetzen wieder an genäherte Körper über, das Licht aber verschwindet abermals, ohne daſs sich nachweisen läſst, wo dasselbe bleibt. Sollte das Licht die Wärme selbst seyn, so begreift man nicht, warum beide ganz verschiedenen Gesetzen folgen, und namentlich eine, die durch Insolation erzeugte Wärme weit übersteigende die durch leztere bedingten Lichtentwickelungen nicht gleichfalls hervorruft. Es liegt diesemnach also die höchst schwierige Frage vor, welche Hypothese vom Lichte diesen sämmtlichen Erscheinungen genüge [1].

§. 100.

Das eigentliche Wesen des Lichtes kann den Erscheinungen gemäſs nicht in einer bloſsen Kraft oder

---

[1]) Ueber die Phosphorescenz der Körper S. insbesondere das an Thatsachen ungemein reiche Werk: Heinrich Phosphorescenz d. Körper. Nürnberg 1811 u. 12. II. Vol. 4. G. G. Schmidt in Gren a. J. I. 297. Beccaria in com. bonon. II. p. 136. II. III. p. 498. Dessaignes J. d. ph. LXXIV. 101 ff. Gehlen VIII. 70. Spallanzani. in Gilb. Ann. I. 30. Carradori ebend. I. 205. Humboldt ebend. I. 378. III. 83. Davy ebend. VI. 109. Hulme und Mitchill ebend. XII. 129. 161. 224. 292. Eine kurze und sehr vollständige Zusammenstellung der zahlreichen Beobachtungen über die verschiedenen Arten der Phosphorescenz findet man in L. Gmelin Handb. d. theor. Chemie. 1827. Th. I. p. 79 ff.

Modification der Körper, noch auch in einer Bewegung bestehen, sondern die consequente Erklärung der Phänomene erfordert einen eigenthümlichen Lichtstoff, welcher nach Euler für einen allgemein verbreiteten, durch den Inpuls selbstleuchtender Körper wirksamen Aether gehalten wird, nach Newton aber den leuchtenden Körpern eigenthümlich angehörend und in steter Bewegung von denselben aus begriffen ist.

Dafs die Lichterscheinungen nicht die Wirkung einer blofsen mechanischen Bewegung der Körper seyn können, wie der Schall, folgt unwidersprechlich aus dem Durchgange desselben durch unermefsliche, nach unserer Kenntnifs leere, Räume. Das Licht eine Kraft zu nennen streitet gegen den für dieses Wort allgemein festgesetzten Begriff §. 12. und hemmt die weitere Untersuchung, weil eben die eigentliche Ursache der Erscheinungen erst aus diesen selbst aufgefunden werden soll.

Die durchaus unbegründeten Argumente gegen die Annahme eines eigenthümlichen materiellen Lichtstoffes werden meistens aus der Feinheit und Geschwindigkeit der Bewegung desselben hergenommen, da doch diese beiden Begriffe blofs relativ sind [1]). Dieses Argument kann ohnehin nur der Emanationstheorie entgegengestellt werden, wobei seine Bedeutsamkeit allerdings nicht zu verkennen ist. Insofern überhaupt das Licht Bewegung zeigt, welche an die Bedingungen des Raumes und der Zeit gebunden ist, von Körpern aufgenommen und reflectirt, gebrochen, gebogen und mannigfaltig modificirt wird, selbst aber wieder vielfache Veränderungen, namentlich chemische, in zahlreichen Körpern hervorbringt, so fordert die Consequenz des Schliefsens nothwendig die Annahme einer eigenthümlichen Lichtmaterie, und müssen gegen diese Argumente diejenigen, welche man aus der Unwägbarkeit und den mangelnden Charakteren der ponderabelen Materien hergenommen hat, durchaus als nichtig verschwinden. §. 79 u. 80.

Obgleich es indefs nothwendig ist, zur Erklärung der Lichterscheinungen einen eigenthümlichen Lichtstoff, einen Lichtäther, anzunehmen, worüber auch alle gründliche Kenner der Optik einverstanden sind, so bleibt es doch aufserordentlich schwer, eine der beiden hierüber bestehen-

[1]) S. Biot Traité III. 148.

den Hypothesen, die nach Newton benannte *Emanationstheorie* oder die durch Euler vertheidigte *Undulationstheorie* als einzig zulässig durch genügende Argumente fest zu begründen. Newton nimmt einen eigenthümlichen Lichtstoff an, welcher von den leuchtenden Körpern ausströmend sich in geraden Richtungen bewegt (so lange er nicht von dieser Bahn abgelenkt wird), und die bekannten Erscheinungen hervorbringt [1]. Ein hauptsächliches Argument für diese Hypothese fanden Newton und seine Anhänger in der geradlinigen Richtung des Strahles, da im Gegentheil alle Wellen, namentlich die Schallwellen, sich um den sie erzeugenden Körper und sonst überall nach allen Richtungen verbreiten. Fällt z. B. ein Lichtstrahl in ein dunkles Zimmer, so zeigt sich im eigentlichen Sinne ein Strahl von Licht, in der ihn umgebenden Dunkelheit, statt daſs die einfallenden Schallwellen nach allen Seiten hin gleich stark verbreitet seyn würden. Dieser Beweis verliert indeſs jezt seine Kraft gänzlich, da es ausgemacht ist, daſs auch die Schallwellen nach einigen Richtungen hin ganz ausbleiben, §. 94. Genau genommen bedurfte es indeſs dieser lezten Entdeckung nicht, um die Unhaltbarkeit des Argumentes zu zeigen. Wäre nämlich der Fortgang des Lichtes im strengsten Sinne geradlinig, so müſste ein in das dunkle Zimmer fallender Lichtstrahl seitwärts betrachtet unsichtbar seyn, und nur directe ins Auge fallend wahrgenommen werden. Es läſst sich, um diesem zu begegnen, nicht sagen, das Licht werde von den Lufttheilchen zurückgeworfen, und diese würden als leuchtend wahrgenommen, nicht aber der Lichtstrahl selbst; denn wenn man eine luftleere Campane in den Lichtstrahl setzt, so sieht man ihn durch diese hindurchgehen. Der Lichtstrahl äuſsert diesemnach seine Wirkungen allerdings auch seitwärts, so gut als dieses beim Schalle der Fall ist, und wird bloſs durch diese selbst wahrgenommen. Uebrigens lassen sich indeſs die Erscheinungen der geradlinigen Bewegung, der Spiegelung, Brechung und Farbenzerstreuung des Lichtes auf eine sehr einfache Weise aus dieser Hypothese erklären. Man hat derselben aber hauptsächlich folgende Gegengründe entgegengestellt.

---

1) Zunächst soll Newton's Lichtstrahl nur dasjenige bezeichnen, was das Phänomen bei der Beobachtung unmittelbar darbietet, und auf keine Weise besser bezeichnet werden kann; allein es ist zugleich genugsam ausgemacht, daſs er sich eine wirkliche Emanation dachte, wenn er auch bescheiden genug äuſsert, daſs andere Theorieen gleichfalls zulässig seyn könnten.

1) Eine so ungeheure Geschwindigkeit von 40000 geogr. Meilen in 1 Sec., als dem Lichte erweislich zukomme, §. 102, sey mit einer sich bewegenden Materie unvereinbar. Biot [1]) sucht diesen Einwurf dadurch zu entkräften, daſs er zeigt, wie sehr die Begriffe von Geschwindigkeit bloſs relativ sind, indem es in der Natur schon so höchst verschiedene Geschwindigkeiten von den geringsten bis zu den gröſsten giebt. Dieses ist allerdings richtig, sofern im Allgemeinen hiervon die Rede ist; allein von der andern Seite bleibt die Frage doch ganz unbeantwortet, welche Kraft dem Lichte eine so enorme Geschwindigkeit ertheilt. Will man sie in der groſsen Elasticität des Lichtäthers suchen, so steigt von der andern Seite die Unbegreiflichkeit, wie derselbe sich um die Sonnen unverändert von gleicher Dichtigkeit erhalten könne.

2) Das stete Ausströmen des Lichtes aus den Sonnen müſste ihre Masse vermindern. Dieser Einwurf ist leicht zu widerlegen, weil die Feinheit des Lichtes auch bei gröſster Intensität unmeſsbar ist, man sie daher nach Willkühr steigern, und hiernach also zeigen kann, daſs auch in Jahrtausenden noch keine merkliche Abnahme stattfinden könne [2]).

3) Nicht unbedeutend ist das Argument, daſs sich das Licht allmälig auf den beleuchteten Körpern, namentlich unserer Erde, unnatürlich anhäufen müsse; denn wie auch die Vorstellung von der Feinheit desselben seyn mag, so strömt doch eine solche Menge täglich seit Jahrtausenden von der Sonne herab, daſs gänzlicher Mangel einer dadurch bewirkten Veränderung kaum begreiflich seyn würde. Es scheint indeſs auf den ersten Blick, als ob die Hypothese, welche hauptsächlich Biot vertheidigt, nämlich daſs das Licht auf der Erde zu Wärme gebunden werde, und diese dann durch Strahlung den weiten Himmelsräumen wieder zuströme, dieser Schwierigkeit völlig begegne. Allein wenn man auch die Unterschiede unberücksichtigt läſst, welche einen eigenthümlichen und an sich verschiedenen Wärmestoff neben dem Lichtstoffe anzunehmen nöthigen, §. 148, so bleibt doch die Hypothese, wonach das Licht zuerst als ein Stoff von unmeſsbarer Elasticität, als Ursache einer kaum begreiflichen Geschwindigkeit, erscheint, dann durch die wägbare Materie gebunden zu der langsam sich bewegenden

---

[1]) Traité III. p. 118.

[2]) Plac. Heinrich Preissch. in den neuen philos. Abhandl. der Baierschen Academie d. Wiss. Bd. V. J. J. Engel Versuch über d. Licht. Berlin 1800. 8.

Wärme wird, nachher aber sich, gleichsam als geschähe es aus Begierde nach den verlassenen himmlischen Räumen, langsam in diese zurückschleicht, um seine frühere Natur wieder anzunehmen, nicht von alter Dichtung frei; wenigstens zeigt keine andere Potenz in der Natur solche unbegründete und gleichsam willkührliche Veränderungen. Allein von dieser Seite betrachtet hat das Argument bei weitem nicht sein gröfstes Gewicht. Es ist indefs von den Astronomen als unzweifelhaft angenommen, dafs das Auge in jeder Richtung gegen das Himmelsgewölbe einen Fixstern mit einer den Sonnenstrahlen gleichen Lichtstärke wahrnehmen müfste, wenn nicht das Licht derselben bei seinem Durchgange durch jene Räume mehr und mehr, bei den meisten bis zum völligen Verschwinden geschwächt würde [1]). Mag nun diese erwiesene Schwächung des Lichtes durch einen Aether oder durch die unmittelbare Wirkung des Raumes erfolgen, wovon eigentlich keins von beiden zulässig ist, indem das Licht mit gleicher Geschwindigkeit sich innerhalb der Sonnenbahn und in den weiten Räumen bis zu den Fixsternen bewegt §. 102, seine Geschwindigkeit also gar nicht abnimmt, wie bei einem vorhandenen Aether oder im störenden Raume nothwendig der Fall seyn müfste, so fragt sich, wo die seit Millionen Jahren in diese Räume unablässig strömende Lichtmaterie bleibt, und was aus ihr wird, da man seit Jahrtausenden keine Spur einer Anhäufung wahrnimmt. Hierbei ist doch unmöglich ohne allzugrofse Willkühr an ein Zurückwandern zu denken.

4) Die Erscheinungen der Beugung des Lichtes lassen sich aus der Emanationstheorie nicht einfach genug erklären. Dieses neuerdings vielbesprochene Argument kann nur bei jenen Untersuchungen selbst näher betrachtet werden §. 123.

Die zweite Hypothese, die sogenannte Undulationstheorie, welche meistens nach L. Euler benannt wird, weil vorzüglich dieser sie der eben betrachteten entgegen stellte [2]), liegt nur sehr unvollkommen und undeutlich in der Wirbellehre des Cartesius, wurde nachher mit grofsem Scharfsinn durch Huygens zur Erklärung der doppelten Brechung des Lichtes benutzt, ist aber neuerdings durch

[1]) S. Olbers im Astronom. Jahrb. 1826. p. 110. Brandes in Gehler's Wörterb. I. 276.

[2]) Hauptsächlich enthalten in L. Euler's Briefe über verschiedene Gegenstände aus der Naturlehre. Ueb. v. F. Kries. Leipz. 1792. III. vol. 8.

Thomas Young, Fresnel, Arago und hauptsächlich Fraunhofer aufs Neue in Aufnahme gebracht. Für dieselbe läfst sich anführen, dafs sie den sämmtlichen, eben genannten, Einwendungen begegnet, namentlich die aufserordentliche Geschwindigkeit der Bewegung und eine nicht stattfindende Anhäufung des Lichtes sehr einfach erklärt. Inzwischen setzt man ihr folgende Einwendungen entgegen:

1) Da die Fortpflanzung der Lichtwellen nur in einem vorhandenen Medio geschehen kann, so müfste ein solches in den weiten Himmelsräumen die Bewegung der Planeten und ihrer Trabanten um so mehr stören, als diese so aufserordentlich schnell ist; denn namentlich durchläuft unsere Erde binnen 24 Stunden 358700 geogr. Meilen. Jede Bewegung in einem Widerstand leistenden Mittel ist aber von abnehmender Geschwindigkeit, wenn eine den Abgang ersetzende Kraft fehlt, und da die Himmelskörper sich seit Jahrtausenden mit gleichbleibender Geschwindigkeit bewegen, so kann ein solcher Lichtäther nicht vorhanden seyn. Die Vertheidiger dieser Theorie haben den Anhängern der entgegengesetzten diesen, in seinen Elementen nur allzusehr begründeten Einwurf zurückgegeben, indem sie sagten, dafs der Stofs des aus zahllosen Sonnen strömenden Lichtes eben so störend wirken müsse; allein dieses ist keine eigentliche Widerlegung, welche das weitere Verfolgen dieser Hypothese rechtfertigen könnte, wozu es indefs keiner ausgezeichnet kühnen Hypothesen bedarf. Man könnte nämlich selbst annehmen, der Lichtäther unserer Sonne sey an diesen seinen Centralkörper gebunden, nehme an der Umdrehung desselben Theil, und bewirke eben hierdurch den Umlauf der Planeten insgesammt nach der nämlichen Seite hin, wodurch jedoch der Lauf der Trabanten nicht erklärt wird. Ferner nimmt man zwar sehr allgemein an, die Bewegung der Himmelskörper geschähe in Folge eines einmal stattgehabten Impulses vermöge des Gesetzes der Trägheit unaufhörlich; allein noch niemand hat hierfür einen andern Beweis aufgestellt, als dafs wir keine sonstige Ursache kennen, was aber kaum mehr als nichts gesagt ist, und es bleibt immerhin möglich, dafs die zur Ueberwindung des aus dem Lichtäther erwachsenden Hindernisses erforderliche bewegende Kraft aufgefunden werde. Endlich aber verliert das Argument vollends alle Kraft, da die neuesten Berechnungen der Bahn des bekannten Enke'schen Kometen bestimmt eine Störung durch einen Widerstand leistenden

Aether darthun [1]), welcher kaum ein anderer als dieser Lichtäther seyn kann [2]).

2) Die chemischen Wirkungen des Lichtes sind aus bloſsen Undulationen nicht füglich erklärbar, da sie der Natur der Sache nach das Hinzukommen eines wirklichen Stoffes und nicht bloſs Wellen eines schon vorher vorhandenen voraussetzen. Dieser Einwurf ist allerdings von groſser Wichtigkeit, und kann auf keine Weise vollständig widerlegt werden, da keine ähnliche Erscheinung vorhanden ist, in welcher bloſse Undulationen chemische Wirkungen hervorbringen. Zudem sind die Lichtwellen von keiner meſsbaren mechanischen Gewalt, und die Undulationstheorie muſs daher durch bedeutende anderweitige Gründe unterstützt seyn, wenn man in Gemäſsheit dieser annehmen soll, daſs das Licht in Beziehung auf die chemischen Wirkungen eine Ausnahme von sonstigen Naturgesetzen mache.

3) Die Anhänger der Emanationstheorie behaupten nicht mit Unrecht, daſs die Erscheinungen der Spiegelung und Brechung des Lichtes aus Undulationen auf keine Weise genügend erklärt werden können, und daſs ihre eigene Hypothese hierüber ungleich genügendere Resultate gebe. In wie weit dieses gegründet ist, wird bei jenen Abschnitten näher gezeigt werden.

Es ergiebt sich aus den bisherigen Betrachtungen, daſs beiden Hypothesen noch zur Zeit gewichtige Argumente entgegenstehen. Glücklicherweise lassen sich die gesammten optischen Erscheinungen füglich demonstriren und unter allgemeine Gesetze bringen, ohne daſs man gezwungen ist, einer von beiden ausschlieſslich zu huldigen, und es bleibt daher vorläufig noch am besten, neben den Phänomenen beide zu berücksichtigen. Sollen also die bisher betrachteten Lichtentwickelungen nach beiden erklärt werden, so sind nach der Emanationstheorie die Sonnen unerschöpfliche Lichtquellen, das Licht, welches glühende Körper geben, und welches durch Schlagen, Drücken u. s. w. ausgeschieden wird, war vorher gebunden und wird frei, ohne daſs bis jezt ein rationaler Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung, oder worauf das Gebundenseyn eigentlich beruhen mag, genügend nachgewiesen ist. Ueber die Erscheinungen der Phosphorescenz sind die Beobachter unter sich noch nicht einig. Verschiedene derselben gehören unter

---

[1]) Astron. Jahrb. 1826. p. 124.

[2]) S. Brandes Art. Aether in Gehler's phys. Wörterb. T. I. p. 271.

die Classe des langsamen Verbrennens oder Verleuchtens, wie es sich beim Phosphor zeigt; das Leuchten durch Insolation oder durch elektrisches Licht wird man weniger geneigt seyn für eine eigentliche Bindung und Wiederausstrahlung des Lichtes zu halten, obgleich dieses beim Pyrosmaragd am nächsten liegt, und nach dieser Hypothese am leichtesten anzunehmen wäre, als vielmehr für eine Wirkung des chemischen Einflusses des Lichtes, vermöge dessen eine Ausscheidung desselben, wie beim Verbrennen, erfolgt. Nach der Undulationstheorie versetzt das Glühen, oder die bis zum Glühen gesteigerte Wärme den Lichtäther in Schwingungen, eben dieses geschieht durch Druck und Stofs, und durch chemische Einwirkung. Dafs beim Pyrosmaragd durch gesteigerte Wärme almälig alles Licht ausgeschieden wird, und nach Helvig's Beobachtungen sich da kein Licht zeigt, wo vorher anhaltend Dunkelheit war, spricht mehr für die Emanation, und mufs die Undulationstheorie wahrscheinlich ihre Zuflucht zu der Hypothese nehmen, dafs auch der Lichtäther von gewissen Körpern in gröfserer Menge gebunden werden könne.

Die Ursache der Lichtentwickelung durch Elektricität wird am besten bei der Untersuchung dieser lezteren Potenz in nähere Betrachtung gezogen.

§. 101.

Der Lichtstoff zeichnet sich vorzüglich aus durch seine Feinheit. Eben daher durchdringt derselbe die dichtesten Körper, ohne dafs der eigentliche Grund der Durchsichtigkeit und des Durchscheinens bis jetzt aus der Natur der Körper genügend erklärt ist. Die hauptsächlichsten übrigen Erscheinungen des Lichtes werden zur leichteren Uebersicht unter der Optik, Katoptrik und Dioptrik zusammengefafst.

Die Feinheit der Lichttheilchen läfst sich nicht direct messen. Musschenbroek [1]) folgert aus dem Durchgange desselben durch kleine Oeffnungen, dafs die einzelnen Lichtstrahlen nicht gröfser als 0.0002 Billionstel eines Haares seyn können. Nach den Gesetzen des Trägheitsmomentes folgert Parrot [2]) aus dem unmefsbaren Impulse der Licht-

[1]) Introd. II. 431.

[2]) Theoret. Phys. II. 103.

theilchen, dafs ihre Gröfse $^1/_{90}$ Bill. der Luftatome nicht erreiche. Wird nämlich die Meile zu 3800 Tois. gerechnet, so beträgt die Geschwindigkeit des Lichtes etwa 152 Mill. Tois. in 1 Sec. Ein Sturmwind von 16 Tois. in 1 Sec. ist ein Orkan, welcher die stärksten Bäume entwurzelt. Beide verglichen ist die erstere 9,5 Mill. mal gröfser, und da das mechanische Moment dem Producte aus der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist, so würde das Licht bei gleicher Kraft nur den 90 Billionsten Theil der Dichtigkeit haben dürfen, welchen die Luft an der Oberfläche der Erde besitzt, wenn sein mechanischer Effect nicht stärker als der des Orkanes seyn sollte. Vergleicht man die Kraft des bewegten Lichtes mit der einer Ladung Sand, welche aus einer Kanone mit 2000 F. Geschwindigkeit in 1 Sec. geschossen wird, nennt den mechanischen Effect beider k und k′, die Masse eines Sandkorns = 1, die der Lichttheilchen = x, die Meile zu 23000 F. angenommen, so würde $k : k' = 2000^2 : 920000000^2\, x$ seyn, also $k = k'$ gesetzt, $x = \frac{1}{211600000000}$ eines Sandkorns betragen, wenn die Effecte beider gleich seyn sollten. Die Feinheit des Lichtes mufs also alle Vorstellung übersteigen, da bis jetzt noch keine Spur eines mechanischen Effectes aufgefunden ist. Auch nach der Undulationstheorie folgt eine unmefsbare Feinheit des Lichtäthers, da die in der Luft sich fortpflanzenden Schallwellen einen bedeutenden Effect zeigen, die ungleich schnelleren des Lichtes aber nicht. Mehrere haben einen Impuls der Lichttheilchen untersucht, aber nicht gefunden, z. B. Hartsoeker [1], Homberg [2], Mairan [3], Flaugergues [4] u. a.

Vollkommen durchsichtig ist kein Körper; am durchsichtigsten sind die elastischen Flüssigkeiten, doch würde, nach den nicht völlig sicher begründeten Angaben von Bouguer und Lambert, die Luft bei gleicher Dichtigkeit, als sie im Niveau des Meeres hat, anfangen undurchsichtig zu seyn, wenn sie die Höhe einer halben Million Toisen oder etwa 132 Meilen erlangte. Hieraus und aus der unbedeutenden Menge vorhandener Dünste erklärt

---

[1]) Princ. de Phys. 1696 S. 26.
[2]) Mém. de l'Acad. des Sc. 1708.
[3]) Traité de l'aurore bor. 2me éd. Par. 1741. p. 369.
[4]) Journ. de Phys. LXXXV. 193.

man die gröſsere Klarheit der Sterne auf hohen Bergen. Einen geringeren Grad der Durchlassung des Lichtes nennt man Durchscheinen, welches selbst bei dünnen Goldblättchen auf Glase statt findet. Merkwürdig ist die Durchsichtigkeit der Lichtflamme, wenn man einen leuchtenden Körper von gröſserer Lichtstärke dadurch betrachtet, oder vorzüglich wenn man spiegelnde Metalle dahinter hält [1]), auch sieht man die Sterne durch die leuchtenden Schweife der Kometen. Daſs auch die Augenlieder durchscheinend sind, erklärt vielleicht manche Erscheinung, z. B. der Nachtwandler u.a. Theilt man ein durchsichtiges Mittel in mehrere kleine Schichten ab, so giebt die Zahl derselben den Exponenten des Lichtverlustes. Wenn demnach eine Schicht einen Lichtverlust $= v$ in Theilen des Ganzen ausgedrückt, bewirkt, so ist die Intensität des Lichtes nach dem Durchgange durch n Schichten $I' = I\ (1 - v)^n$. Sind die Schichten wirklich begrenzt, so bringen diese Flächen einen neuen, ihrer Glätte umgekehrt proportionalen Lichtverlust hervor, sind sie aber sehr gut polirt, so können sie fast als eine einzige durchsichtige Masse betrachtet werden; inzwischen erzeugen auch die am feinsten polirten Glasscheiben durch Zurückwerfung von etwas Lichte stets einigen Verlust, weswegen auf einander gelegte Glasscheiben weniger Licht durchlassen, als eine Glastafel von gleicher Dicke, und es wird hieraus der metallartige Glanz erklärlich, mit welchem jene bei auffallendem Lichte betrachtet erscheinen.

Auf den angegebenen Lichtverlust beim Durchgange desselben durch transparente Körper sind diejenigen Photometer gegründet, bei denen eine so groſse Menge durchsichtiger oder durchscheinender Scheiben in einem Rohre an einander gelegt werden, bis das durchfallende Licht in einem vergleichbaren Grade geschwächt oder ganz verschwunden ist. Von dieser Art ist das durch F. Maria [2]) angegebene Photometer, und das ihm ähnliche von Lampadius [3]). Andere Vorschläge sind von Nicod-Delom [4]) nebst den Verbesserungen durch Raymond [5]), von Ritchie [6]) u. a. Weil indeſs das Auge nicht scharf über die

---

1) S. Razoumowsky in Journ. de Phys. XCIII 336.

2) Nouv. decouv. sur la lumière Par. 1700.

3) S. Accum über d. Gaslicht. Ueb. von Lampad. 1816. p. 31.

4) Bibl. univ. I. 253.

5) S. ebend. II. 211.

6) Phil. Trans. 1825. I. 141.

Intensität des Lichtes zu urtheilen vermag, so verdient Rumford's Photometer durch den Schatten §. 104 und Leslie's Differentialthermometer §. 86 bei weitem den Vorzug.

Einen bestimmten Zusammenhang zwischen der Natur der Körper und ihrer Durchsichtigkeit hat man noch nicht nachgewiesen. Die Metalle und solche Substanzen, welche die schwersten Mischungsgewichte haben, sind zwar vorzugsweise undurchsichtig, allein nur im regulinischen Zustande, als Oxyde und als Erze, wogegen die Salze fast aller durchsichtig sind. Auf gleiche Weise ist die lockere Kohle ganz undurchsichtig, und der feste Diamant durchsichtig, so dafs also Porosität nicht als Ursache der Durchsichtigkeit betrachtet werden darf. Dagegen scheint eine regelmäfsige Lage der Körperelemente die Durchsichtigkeit zu befördern, weil dann die Lichtstrahlen einen regelmäfsigen Gang beibehalten, und nicht in vielfachen Wechseln hin und her geworfen werden. Aus diesem Grunde werden manche Körper mehr durchscheinend oder durchsichtig, wenn man ihre Poren mit einer durchsichtigen Substanz anfüllt, z. B. Papier durch Oel, Wachs u. dgl. Glasscheiben mit mattgeschliffener Oberfläche sind undurchsichtig; bringt man aber einen Tropfen Terpentinspiritus zwischen zwei solche Flächen, so werden sie durchsichtig. Der Hydrophan und Pyrophan (mit Wasser und Wachs getränkte Opale) zeigen ähnliche Erscheinungen. Brewster [1]) hat dieses eigenthümliche Verhalten des Lichtes am Tabascheer untersucht, welcher an sich zum Theil durchsichtig durch wenig aufgenommenes Wasser undurchsichtig, durch vieles wieder
Fig. 109] durchsichtig wird. Ist ABC ein Prisma von dieser Substanz, worin die Höhlung abc sich befindet, so wird bei ihrer geringen Brechungskraft der einfallende Lichtstrahl mn nicht sehr zerstreuet werden, und keine bedeutend veränderte Brechung beim Ein- und Austritte in e und h erhalten. Wird etwas Wasser aufgesogen, und legt sich dieses an den Wänden an, so dafs es die Luftblase $\alpha\beta\gamma$ einschliefst, so wird der Lichtstrahl sehr ungleich gebrochen und zerstreuet, woraus Undurchsichtigkeit entspringt, bis der ganze Raum mit Wasser erfüllt ist, und die Durchsichtigkeit wieder eintritt. Man darf hiernach annehmen, dafs die sehr dichten und aus grofsen, dicht zusammengefügten Mischungsgewichten bestehenden Körper, welche die Lichtstrahlen

[1]) Phil. Trans. 1819. p. 286.

überhaupt zurückhalten, und solche, welche dieselben oft und vielfach ablenken, undurchsichtig sind. Daher sind Wasser und Oel zusammengeschüttelt, zerstoſsenes Glas, selbst Wasser und Weingeist, im Augenblicke der Vereinigung undurchsichtig.

Nach der Emanationstheorie wird die Durchsichtigkeit leicht aus dem Durchgange des Lichtes erklärt, minder leicht nach der Vibrationstheorie aus der Fortpflanzung der Lichtwellen durch den in den Körpern enthaltenen Aether.

1) Optik,

oder geradlinige Verbreitung des Lichtes.

§. 102.

Das Licht verbreitet sich von den leuchtenden Körpern in geraden Strahlen, welche eine Sphäre von unbestimmbarem, der Intensität des Lichtes und der Gröſse des leuchtenden Körpers proportionalen Durchmesser bilden, mit einer Geschwindigkeit von mehr als 40000 Meilen in einer Secunde. Es muſs demnach die Intensität des Lichtes im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernungen stehen, welches mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmt.

Auf die geradlinige Bewegung des Lichtes stützt sich das Visiren, und wir erhalten duch Uebung eine Fertigkeit, die Gegenstände dahin zu setzen, wohin der Lichtstrahl, vom Auge aus verlängert, gerichtet ist. Bis in welche Ferne das Licht fortgepflanzt werde, ist noch nicht aufgefunden, und schwer durch Theorie sowohl, als auch durch Erfahrung zu bestimmen. Manche Fixsterne pflanzen das Licht in wahrhaft unermeſsliche Weiten fort, jedoch mit zunehmendem Verluste, welchen Olbers[1]) beim Sirius für dessen Entfernung auf $\frac{1}{800}$ des Ganzen anschlägt.

Man suchte früher die Geschwindigkeit des Lichtes in irdischen Räumen zu messen, kann aber hierfür die Zeit seiner Bewegung unendlich klein, d. i $=$ o setzen, wie auch in der Anwendung geschieht. Werden nämlich die Ge-

---

[1]) Astron. Jahrb. 1826. p. 110.

schwindigkeiten des Schalles oder sonstige Bewegungen in irdischen Räumen gemessen oder sucht man Bestimmungen der geographischen Länge durch Blickfeuer zu erhalten, so wird für die Bewegung des Lichtes durch irdische Räume keine Gröfse in Rechnung genommen, wie auch nothwendig aus der Betrachtung folgt, dafs 0,1 Sec. die kleinste Zeit ist, welche noch mit einiger Sicherheit gemessen werden kann, und in dieser durchläuft das Licht 4000 Meilen [1]. Olof Römer [2]) zeigte, wie die Geschwindigkeit des Lichtes durch die Zeit gemessen wird, in welcher wir die Verfinsterung der Jupiterstrabanten wahrnehmen, eine Methode, deren sich Bradley, Halley und andere später gleichfalls für Fig. 110] diesen Zweck bedienten. Denkt man sich in S die Sonne, in t die Erde und in i den Jupiter, beide in ihrer Bahn sich bewegend, in l einen Trabanten des Jupiters um seinen Planeten laufend, so wird die Entfernung des Mondes von der Erde zunehmen, so wie die leztere durch t'; t'' und t''' weiter rückt und ihr Maximum erreichen, wenn die beiden ersten Körper sich in der angenommenen Lage befinden, die Erde aber in t'', in welchem Falle das Licht aufser dem Raume lt noch den tt'', oder die Erdbahn durchlaufen mufs. Diejenige Zeit also, welche das Licht mehr bedarf, um von dem aus dem Schatten seines Planeten tretenden Trabanten zur Erde in t'' zu gelangen, als wenn es sie in t erreicht, wird für das Durchlaufen der Erdbahn verwandt, bei deren bekannter Gröfse also die Geschwindigkeit desselben berechnet werden kann. Nach den genaueren Bestimmungen der neueren Zeit bewegt sich das Licht durch den Halbmesser der Erdbahn in 8′ 13″,2 [3]). Aus der Aberration, durch welche Bradley die Beochachtung des Römer bestätigte, folgt eine Zeit von 8′ 17″,5 [4]). Rechnen wir den Halbmesser der Erdbahn = 20,5 Mill. Meilen zu 22840 p. F. so durchläuft das Licht in einer Secunde 41206 Meil. oder ungefähr 941 Mill. Fufs. Ist ferner ab ein Fig. 111] Stück der Erdbahn, f ein Fixstern, und durchläuft das Licht in der nämlichen Zeit den Raum $\alpha\beta$, in welcher die Erde von β nach γ gelangt, so ist $\beta\alpha\gamma$ der Aberrations.

---

[1]) Vergl. Gregory Haushaltung der Natur. p. 168.

[2]) Basis Astronomiae. Hafniae 1735. p. 121.

[3]) Bohnenberger Astron. p. 160.

[4]) Bode astron. Jahrbuch 1820. p. 210. Vergl. Bailly hist. d'astronomie moderne II. 674. Piazzi Astronom. übersetzt von Westphal. p. 109. De Lambre Astron. III. 105.

winkel des Lichtes. Aus der Uebereinstimmung der durch beide Methoden gefundenen Geschwindigkeit ergiebt sich, dafs das Licht der Sonne und der Fixsterne identisch ist, und jede Art widerstandleerer Räume mit gleicher Geschwindigkeit durchläuft.

Das Licht, als materielles Wesen, mufs bei gleichmäfsiger Verbreitung vom leuchtenden Körper aus an Intensität abnehmen, wie die Flächen der Schnitte durch die einzelnen Pyramiden, deren Spitzen in den leuchtenden Körpern vereinigt gedacht werden, zunehmen, d. i. den Quadraten der Entfernung proportional. Bilden diese Flächen einen schiefen Winkel α mit der Axe dieser Pyramide, so ist die Intensität des Lichtes derselben $i' = i \sin. \alpha$. Man kann die photometrischen Versuche über die Intensität verschiedener Lichtquellen durch unmittelbare Vergleichung zweier neben einander gehaltener Erhellungen anstellen, indem man die von denselben ausgehenden Lichtstrahlen neben einander in ein dunkles Zimmer auf eine weifse Wand fallen läfst, und ihre Intensitäten durch Veränderung der Entfernungen gleich zu machen sucht. Bouguer[1]) und Lambert[2]) haben diese Methode des Messens angewandt, welche aber keine sehr grofse Schärfe gewährt, weil das Auge die verschiedene Stärke des Lichtes nicht leicht so genau, als hierzu erforderlich ist, zu bestimmen vermag.

§. 103.

Das Licht mufs vermöge der aufserordentlichen Geschwindigkeit seiner Bewegung für irdische Räume im Augenblicke des Aufhörens seiner Erzeugung ohne ein mefsbares Zeitintervall sogleich verschwinden. Indefs dauert die Wirkung des Nervenreitzes im Auge noch eine mefsbare Zeit fort, ohne dafs bis jezt der Einflufs der Art und Stärke des Lichtes, der Beschaffenheit des Auges und sonstiger bedingender Umstände genugsam erforscht ist. Auf gleiche Weise ist auch eine gewisse Zeit des Lichteindruckes auf das Auge erforderlich, wenn derselbe empfunden werden soll.

---

[1]) Traité d'Optique sur la gradation de la lumiere. à Par. 1760. 4.

[2]) Photometria, sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Aug. Vind. 1760. 8.

Schon Newton[1]) beobachtete die Nachempfindung des Lichtes im Auge, und setzte die Zeitdauer derselben nach Schätzung auf 1 Sec. Später stellten Segner[2]) und d'Arcy[3]) absichtlich Versuche hierüber an, und fanden ersterer = 30 Tertien, lezterer 8 Tertien als längste Dauer des Lichtsteindruckes, welche Cavallo[4]) nur zu 6 Tertien annehmen will. Die neuesten Versuche von Parrot[5]) haben unsere Kenntnifs dieser Sache etwas berichtigt und erweitert, indem diese Dauer in einem dunkelen Zimmer, wo also die Reitzbarkeit des Auges gröfser ist, 15 Tert. in einem erhellten Zimmer aber nur 10 Tert. beträgt. Aus dieser Eigenthümlichkeit wird erklärlich, dafs eine schnell umgeschwungene Kohle einen vollen Kreis bildet, da sie jederzeit doch nur an einem einzigen Orte seyn kann, durch welches Mittel übrigens die Zeitdauer des Eindruckes gemessen wird, indem man sie gerade so schnell schwingt, dafs der Kreis ohne Unterbrechung zusammenhängt, und die hierzu erforderliche Zeit aufsucht. Eben daher erscheint der Blitzstrahl zusammenhängend u. dgl. m. Dr. Paris[6]) hat hierauf die Construction einer artigen Spielerei gegründet, welche er *Thaumatrop* oder engl. *Wonderturner* nennt. Man nimmt eine runde oder rectanguläre Scheibe von dickem Kartenpapier, befestigt in einer durch die Mitte ihrer Fläche gehenden Linie an beiden Seiten zwei feine, etwa 0,75 Zoll hervorragende Drähte, und drehet diese zwischen den Fingern so, dafs im schnellen Wechsel die eine und die andere Fläche beobachtet wird. Ist dann die Hälfte der einen mit der Hälfte einer Figur, und die andere mit der Ergänzung der lezteren so bemalt, dafs beide Hälften nach dem Umdrehen ein Ganzes bilden, so erscheint dem Auge, wenn die Umdrehung gehörig schnell geschieht, die ganze Figur als ungetrennt, weil der Lichteindruck jeder Hälfte länger dauert als eine halbe Umdrehung.

Der Lichteindruck mufs eine gewisse Zeit dauern, wenn das Auge ein Bild erhalten soll. Dieses ergiebt sich daraus, dafs bei zunehmend schneller Bewegung zuerst die Formen der Körper verschwinden, und sie zulezt gar nicht mehr

---

[1]) Optice. qu. 16.
[2]) De raritate luminis. Gott. 1740.
[3]) Mém. de Par. 1765. p. 450.
[4]) Naturlehre übers. von Trommsdorff III. p. 132.
[5]) Entretiens sur la Physique. T. III. p. 235.
[6]) Edinb. Journ. of Science Nro. VII. p. 87.

wahrgenommen werden. Das Erstere ersieht man bei schneller Bewegung verschiedener Körper, oder schon dann, wenn man sich schnell im Kreise herumdrehet, das Leztere zeigen die Geschützkugeln.

Beide Theorieen des Lichtes genügen zur Erklärung dieser Phänomene, jedoch paſst für die lezteren besser die Undulationshypothese, weil auch beim Schalle eine gewisse Menge von Wellen zur Erzeugung einer Empfindung erforderlich sind; nach der Emanationstheorie muſs man indeſs doch wohl eine zusammenhängende Strömung annehmen, und dann käme auch in einer sehr kurzen Zeit sicher bei der groſsen Geschwindigkeit des Lichtes eine solche Menge desselben in das Auge, daſs das Nichtwahrnehmen der Gegenstände in Folge ihrer verhältniſsmäſsig stets noch langsamen Bewegung minder leicht erklärbar scheint. Setzt man die Dauer des Lichteindruckes nur zu 6 Tertien, so könnten bei der bekannten Geschwindigkeit des Lichtes seine einzelnen Pulsus oder die einzelnen Lichtkügelchen 4120 Meilen von einander abstehen, nnd würden uns dennoch als ein zusammenhängender Strahl erscheinen.

§. 104.

Wenn das Licht bei seinem Fortgange auf undurchsichtige Körper fällt, so entsteht hinter diesen Abwesenheit des Lichtes, oder Schatten. Lezterer ist nicht an sich, sondern nur durch die Grenzen des ihn bildenden Lichtes wahrnehmbar, und hinsichtlich der Anzahl derselben den Mengen der Lichtquellen, so wie rücksichtlich der Intensität der Stärke des Lichtes proportional. Die Form desselben wird den Gesetzen der geradlinigen Verbreitung des Lichtes gemäſs durch die Gröſse und Gestalt des leuchtenden und des undurchsichtigen Körpers und die ihn auffangende Fläche bestimmt, durch welche gleichfalls der almälige Uebergang des Halbschattens in den Kernschatten bedingt ist.

Eigentlich sieht man nicht den Schatten selbst, sondern bloſs die Grenzen des Lichtes, dessen Intensität viel schärfer durch den Contrast zwischen Licht und Schatten, als durch den directen Eindruck desselben §. 102. gemessen

werden kann. Hierauf ist Rumfords Photometer gegründet, welches ein eben so einfaches als sicheres Mittel zum Messen der Lichtstärke abgiebt. Mit sehr grofser Genauigkeit kann die Stärke von zwei Lichtquellen schon dadurch gemessen werden, dafs man einen metallenen oder hölzernen Stift in der Entfernung von ein oder etlichen Zollen vor ein weifses Papier hält, so dafs die Schatten beider leuchtenden Objecte nahe bei einander auf dasselbe fallen, und dann das eine dieser Lichter so lange weiter entfernt, bis beide Schatten einander gleich sind. Indem aber die Tiefe des Schattens der Helligkeit des Lichtes directe, die Lichtstärke aber dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist, so giebt das Mafs der Entfernungen beider leuchtenden Körper die Intensität. Sind demnach die Schatten einander gleich, heifst die Lichtstärke oder Leuchtkraft des einen Körpers $= k$, des andern $= k'$; ist die Entfernung von jenem $= d$, von diesem $= d'$, so wird aus $k : k' = d'^2 : d^2$ die gesuchte Lichtsätrke $k' = k \frac{d^2}{d'^2}$; und wenn k als Einheit angenommen wird, so ist $k' = \frac{d^2}{d'^2}$. Macht man aber, wie in diesem Versuche, beide Lichteffecte einander gleich, so müssen die Intensitäten der Lichtquellen sich wie die Quadrate der Entfernungen verhalten, also die Entfernung der einen und ihre Stärke $= 1$ gesetzt ist die gesuchte Intensität $I = d^2$. Sind also die Schatten von 2 Lichtern einander gleich und ist das zu prüfende in doppelter Entfernung, so ist seine Leuchtkraft $= 4$. Ein mehr zusammengesetzter, aber kaum gröfsere Genauigkeit gewährender Apparat besteht aus zwei in einer horizontalen Ebene liegenden, mit ihren Enden vereinigten, dicken hölzernen Leisten mit einem darauf befindlichen Mafse. Auf den vereinten Enden befindet sich ein schwarzer Kasten mit einer nach den Leisten gekehrten weifsen Fläche und einem davor lothrecht aufgerichteten Stifte. Auf die beiden Leisten werden dann die zu messenden Lichter so gestellt, dafs ihre beiden durch den Stift erzeugten Schatten dicht neben einander auf die weifse Fläche fallen, und indem man sie bis zur Gleichheit der lezteren auf den Leisten näher oder entfernter rückt, giebt das darauf befindliche Mafs das Mittel zur Berechnung ab.

Dafs der Schatten durch den Contrast so viel dunkler wird, je gröfser die Stärke des Lichtes ist, wurde so eben

erwähnt, und eben so folgt aus dem Gesagten, dafs es gerade so viele Schatten des nämlichen Objectes geben mufs, als beleuchtende Lichtquellen vorhanden sind. Indem ferner die Lichtstrahlen die Grenze der undurchsichtigen Körper berühren, und dann in gerader Richtung fortgehen, so zeigen die Schatten genau die Oberflächen und Formen der dunkelen Körper, worauf die Abnahme der Schattenrisse und das Silhouettiren beruhet; überhaupt läfst sich aus der Gröfse, Form, Lage und Entfernung des leuchtenden und des beschattenden Körpers die Lage und Gestalt des Schattens geometrisch construiren. Ist einer dieser beiden Körper oder sind beide bewegt, so bewegt sich auch der Schatten, wie man bei den Schatten gebenden Wolken und der belustigenden Spielerei der ombres chinoises wahrnimmt. Wird ein Schatten durch ein gleich starkes Licht beleuchtet, als welches ihn erzeugt, so verschwindet er, erscheint dagegen desto dunkler, je weniger er beleuchtet ist. Ist der leuchtende Gegenstand gröfser als der Schatten gebende, so ist die Länge des Schattens endlich, im entgegengesetzten
Fig. 112] Falle ist sie unendlich. Derjenige Schatten, welcher von keinem Theile des leuchtenden Körpers Licht erhält, z. B. tct′, heifst Kernschatten, diejenigen Theile aber, welche nur durch einiges Licht erhellet werden, also at′c und ctb befinden sich im Halbschatten. Auf gleiche
Fig. 113] Weise ist, bei zwei Lichtquellen tαt Kernschatten, dagegen sind tat und tbt Halbschatten, weil dahin weniger Licht fällt, als auf die durch beide Lichtquellen beleuchteten Räume, und mehr als auf denjenigen Raum, welcher gar kein Licht erhält.

2) Katoptrik
oder Zurückstrahlung des Lichtes.

§. 105.

Alle Körper haben die Eigenschaft, von dem auffallenden Lichte eine verschiedene Menge zurückzuwerfen. Sind die Oberflächen derselben rauh, so dafs das auffallende Licht nach allen Richtungen durch einander geworfen wird, so giebt dieses reflectirte Licht dem Auge ein Bild des Körpers, dessen Grenzen mit denen des Objectes identisch sind, und daher zur

Messung des lezteren dienen. Sind dagegen die Oberflächen derselben glatt, so werden die auffallenden Bilder unmerklich verändert in das Auge nach dem Gesetze des Stoſses elastischer Körper zurückgesendet.

Die Körper sind bloſs durch die Reflexion des auffallenden Lichtes sichtbar, und wir können hierbei zur Bequemlichkeit der Construction eine Lichtpyramide annehmen, deren Basis auf dem Körper ruhet, die Spitze aber im Auge ist.

Ein Körper ist so viel dunkeler (schwärzer), je weniger Licht er absolut oder im Verhältniſs zu andern gleichzeitig wahrgenommenen reflectirt; absolut dunkel oder schwarz ist kein Körper, indem auch der schwärzeste etwas weiſses Licht reflectirt, zum Beweise, daſs es keine eigentliche schwarze Farbe giebt[1]. Noch immer giebt es einige, welche das Dunkel dem Lichte, das Schwarz dem Weiſsen als etwas Wirkliches entgegensetzen, da es doch überall kein Dunkel und kein Schwarz anders als durch Verminderung des Lichtes giebt. Am anschaulichsten wird dieses, wenn man ein 6 bis 8 Zoll langes, inwendig geschwärztes pappenes Rohr von etwa 1 Z. Weite, am einen Ende mit einer klaren Glasscheibe versieht, auf leztere aber einen ganz undurchsichtigen Kreis so klebt, daſs dieser nur von einem freien, 1 Lin. breiten Ringe umgeben ist. Wird dann die eine Hälfte eines Stückes weiſsen Papieres mit dem möglichst tiefen Schwarz bedeckt, das offene Ende des Rohres so vor das Auge genommen, daſs seitwärts kein Licht hineinfällt, der Ring der Glasscheibe aber gegen die geschwärzte Fläche gerichtet, so erscheint diese auffallend weiſs, und man nimmt die schwarze Färbung erst wahr, wenn man das Rohr zugleich gegen das weiſse Papier richtet. Auch spiegelnde Körper scheinen schwarz oder dunkel, weil sie kein Bild oder nur ein schwaches von sich selbst reflectiren, sie sind so viel dunkler, je vollkommener sie spiegeln, und würden als absolut vollkommene Spiegel selbst unsichtbar seyn. Die Ebenen im Monde, die Meere und groſse Ebenen auf der Erde aus weiter Ferne gesehen, sind daher dunkel u. s. w.

Die Fähigkeit der Körper, als Spiegel die Bilder der Objecte zu reflectiren, ist der Glätte ihrer Oberfläche proportional. Es spiegeln daher alle ruhig stehende Flüssig-

[1]) S. Lüdike in Gilbert Ann. XX. 299.

keiten, und die Menge der reflectirten Lichtstrahlen ist bei diesen, so wie bei Glas, polirtem Marmor u. a. Körpern, der Gröfse des Einfallswinkels proportional [1]. Gemeine Glasspiegel verschlucken 0,4816 die besten nach Rumford noch 0,3494 des auffallenden Lichtes [2]. Die täuschende Erscheinung, wonach Spiegel hellere Bilder zu geben scheinen, als unmittelbar gesehene Objecte, wird durch den Versuch einer wiederholten Reflexion widerlegt, und ist in der scharfen Begrenzung der Bilder gegründet. Die gewöhnlichen Spiegel sind von Metall, welches entweder selbst polirt, oder als Amalgama an die hintere polirte Glasfläche angelegt wird. Die ersteren sind kostbar und leicht verletzlich, die lezteren geben doppelte Bilder, das eine von der vorderen, das andere von der hinteren Fläche des Glases, weswegen sie zu Teleskopen unbrauchbar sind. Polirtes schwarzes Glas oder auf der hintern Fläche vollständig geschwärzte Spiegelglasscheiben geben gleichfalls gute Spiegel. Ein gutes Spiegelmetall geben 64 Th. Kupfer u. 29 Th. Zinn, oder 32 Th. Kupfer 15 Th. Zinn 1 Th. Messing 1 Th. Arsenik [3].

Der gewöhnlichen Ansicht Newton's [4], wonach eine zurückstofsende Kraft der spiegelnden Körper die auffallenden Lichtstrahlen schon vor der Berührung umbeugen und reflectiren soll, kann ich nicht beipflichten, weil 1) alle Körper, vorzüglich die durchsichtigen, welche zugleich spiegeln, eine anziehende Wirkung gegen das Licht äufsern, womit der Begriff einer zugleich zurückstofsenden doch unmöglich bestehen kann. Biot, der bedeutendste Kenner und Anhänger der Newton'schen Theorie, nimmt eine Anziehung des Lichtes durch die durchsichtigen Körper als Ursache der Brechung an [5], und fühlt das Widersprechende, neben dieser anziehenden Kraft auch eine abstofsende als gleichfalls in den nämlichen, zugleich transparenten und spiegelnden, Körpern anzunehmen, glaubt aber durch die Thatsachen hierzu gezwungen zu seyn. Allein durch die Erfahrung ist blofs die Spiegelung, keineswegs aber eine sie bewirkende Kraft gegeben. 2) Der einzige Beweis

[1]) S. Biot Traité III. 776.
[2]) S. Gren J. II. 47.
[3]) Gilbert Ann. XII. 167. Hildebrandt Encycl. H. 13. §. 811.
[4]) S. Opt. III. 3 prop. VIII. IX. Vergl. Lambert Phot. II. Biot Traité III. 191.
[5]) Traité III. 257.

der Hypothese, dafs die hinteren Flächen durchsichtiger Körper hellere Bilder als die vorderen geben sollen, zeigt sich bei dickeren Glasstücken falsch, indem eine solche, von dem Körper ausgehende, repulsive Kraft nur in den Massen der Körper, und nicht in ihren Oberflächen enthalten seyn könnte, und also der Dicke derselben proportional wachsen müfste. Zum Beweise dient eine Stecknadel, oder ein Stift, welche man lothrecht an den Rand einer waagerecht gegen vieles Licht gerichteten, etwas dicken, Glasplatte hält, um die Intensität beider gespiegelten Bilder besser zu vergleichen. 3) Die Zurückwerfung des Lichtes wird blofs durch die verschwindend dünne vordere und hintere Oberfläche der Körper bewirkt, wobei gefärbte spiegelnde Materien den reflectirten Bildern so viel mehr von ihrer eigenen Farbe mittheilen, je tiefer die Lichtstrahlen nach der Kleinheit des Einfallswinkels in dieselben eindringen, oder je öfter sie von gleichen farbigen Mitteln reflectirt werden [1]. Auch dichte Nebel und Dünste geben Bilder durch Reflexion in Folge der vielen, in einer Ebene liegenden, das Licht reflectirenden kleinen Körperchen. Aus gleichen Gründen spiegeln lange gerade Mauern, wiewohl nur unvollkommen. Dafs übrigens die Reflexion der Lichtstrahlen, eben wie die der Wärmestrahlen an den Oberflächen und ohne mefsbare Entfernung von denselben stattfinde, hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man eine etwa 8 Z. lange, 2 Z. breite und 1 bis 1,5 Lin. dicke, höchst klare Spiegelglasscheibe nach ihrer Länge in 3 gleiche Abtheilungen theilt, die eine frei läfst, die andere mit schwarzem Tusche belegt, die dritte mit feinem Schmirgel matt schleift, während die andere ganze Fläche der Scheibe unverändert bleibt. Ein gespiegeltes Kerzenlicht zeigt dann in der freien Abtheilung zwei völlig kenntliche Bilder, in der schwarz belegten ein von der vordern Fläche reflectirtes helles, auf der hintern Fläche erzeugtes sehr schwaches Bild, weil die schwarze Farbe das Licht verschluckt, in der dritten Abtheilung aber verschwindet das zweite Bild gänzlich, indem von der mattgeschliffenen keine Spur desselben reflectirt wird. Dahin gehört auch die Erzeugung vielfacher Bilder in einer Glasscheibe mit wenig divergirenden oder parallelen Flächen, wenn man die Spiegelung ihres Randes zwischen den beiden Flächen in einem grofsen Einfallswinkel betrachtet.

---

1) S. Biot IV. 119. Prevost ann. de chim. 1817. Fevr. 192.

Sind beide spiegelnde Flächen eines durchsichtigen Körpers genau parallel, so behalten die beiden reflectirten Bilder bei gleicher Richtung ihren Abstand gegen einander genau bei. Man kann durch dieses Mittel den Parallelismus der Flächen prüfen [1].

Wenn man also annimmt, daſs die Ursache der Spiegelung bei durchsichtigen und undurchsichtigen Körpern die nämliche ist, mit dem Unterschiede, daſs von den ersteren weniger Licht reflectirt wird als von den lezteren, und da ferner aus dem Gesagten folgt, daſs die Spiegelung selbst in unmeſsbarer Entfernung von der Oberfläche der spiegelnden Körper erzeugt wird, so fallen in dieser Hinsicht die Erscheinungen der Spiegelung mit denen der Adhäsion und des Verhaltens der Wärme zusammen. Sollen dann die Phänomene der Spiegelung nach der Emanationstheorie erklärt werden, so ist es nothwendig, eine der Bewegung des Lichtes entgegenwirkende Kraft anzunehmen, welche man von dem spiegelnden Körper ausgehend, und in der Richtung des Einfallslothes auf die spiegelnde Fläche wirkend voraussetzt. Diesemnach muſs allerdings, wie beim Stoſse elastischer Körper §. 27, der Lichtstrahl von der spiegelnden Fläche so zurückgeworfen werden, daſs der Einfallswinkel dem Ausfallswinkel gleich ist, wenn man eben so, wie dort geschehen ist, die Richtung seiner Bewegung als die Diagonale einer zusammengesetzten Bewegung zerlegt. Bei undurchsichtigen spiegelnden Körpern wäre diese Erklärung sehr leicht und einfach, indem man die Elemente des Lichtes als höchst elastisch, spiegelnde Flächen aber als für sie undurchdringlich ansehen könnte; bei transparenten Körpern aber liegt die groſse Schwierigkeit darin, diejenige Kraft nachzuweisen, welche in der Berührung der polirten Spiegelflächen die übrigens hindurchgehenden Lichtstrahlen zugleich zurückstoſst.

Die Erklärung dieser Erscheinungen nach der Undulationstheorie scheint zwar auf gleiche Weise bloſs hypothetisch, allein sie hat die unzweifelhafte Thatsache des Verhaltens der Schallwellen für sich. Treffen diese auf ihrer Bahn irgend einen festen oder flüssigen Körper von anderer und bedeutend verschiedener Fortleitungsfähigkeit als dasjenige ist, worin sie sich bewegen, so werden sie zwar fortgepflanzt, allein mit verminderter Stärke; zugleich aber

---

[1]) S. Fischer in Bode astron. Jahrb. 1815. S. 224. Vergl. §. 117.

werden sie so zurückgeworfen, dafs der Einfallswinkel genau dem Ausfallswinkel gleich ist, worauf die Entstehung der Echo's und die Wirkungen der Sprachgewölbe §. 65 beruhen. Die groben und dicken, eben daher sich nur langsam bewegenden, Schallwellen bedürfen hierzu keiner polirten Flächen, bei den höchst feinen Lichtwellen ist dieses aber nothwendige Bedingung, weil sonst für die einander nahen und sich berührenden Wellen die Einfalls- und Ausfallswinkel ungleich werden, so dafs zwar eine Reflexion statt findet, aber nicht die Erzeugung eines Bildes. Dafs also die Lichtwellen an den Grenzflächen ungleich leitender Körper zurückgeworfen werden, ist eine Folge ihrer ungleichen Fortpflanzung in denselben, die Spiegelung aber ist eine Modification dieses Gesetzes, welche aus der Politur entspringt, indem diese es mit sich bringt, dafs die reflectirten Wellen entweder den nämlichen Parallelismus beibehalten, welchen sie vor der Reflexion hatten (ebene Spiegel) oder eine durch die Gestalt der Fläche bedingte regelmäfsige Abänderung desselben erleiden (krumme Spiegel), wobei jedoch bei jeder einzelnen höchst kleinen Welle der Einfallswinkel dem Ausfallswinkel gleich ist. Die verschiedenen Substanzen müssen hiernach so viel vollkommenere Spiegel geben, je weniger sie das Licht durchlassen, folglich die undurchsichtigsten die besten. Schwarze und lockere undurchsichtige Körper machen hiervon nur eine scheinbare Ausnahme, indem sie entweder ganz oder mindestens auf ihrer Oberfläche von einer solchen Beschaffenheit sind, dafs sie die Lichtwellen durch regelloses Hin- und Zurückwerfen auf gleiche Weise zerstören, als dieses bei den Schallwellen durch lockere und weiche Körper geschieht. Durchsichtige Körper können nur dann an ihrer Grenze eine Zurückwerfung der Wellen, und also eine Spiegelung bewirken, wenn sie das Licht ungleich leiten. Obgleich daher zwei ungleiche tropfbare Flüssigkeiten an ihrer Grenze völlig ebene Flächen bilden, so wird dennoch keine Spiegelung statt finden, und expansibele Flüssigkeiten bewirken diese nicht, wenn sie zu dünn sind, z. B. die atmosphärische Luft beim Eintritte des Lichtes in dieselbe. Poisson [1]) hat in der Hauptsache diesese Sätze aus der Theorie der Wellen geometrisch zu beweisen versucht.

---

[1]) Ann. Chim. et Phys. XXII. p. 246. Vergl. Hugenii Tract. de Lumine in Opp. rel. Amst. 1728. cap. 2.

§. 106.

Für die Zurückstrahlung des Lichtes gilt das allgemeine Gesetz, daſs der Einfallswinkel eines Lichtstrahls seinem Ausfallswinkel völlig gleich ist. Weil aber das Licht nie als ein einzelner abgesonderter Strahl erscheint, sondern stets als die Summe einer unbestimmbaren Menge unmeſsbar feiner Lichtstrahlen, so muſs die gesammte Fläche, worauf das Licht im Ganzen und jeder einzelne Lichtstrahl insbesondere fällt, bei der Construction berücksichtigt werden.

Von einem selbstleuchtenden oder durch auffallendes Licht erhelleten Gegenstande fallen allezeit eine Menge Strahlen von allen Theilen des Objectes gegen die Spiegel, welche dann zur Erzeugung des Bildes dienen. Zur gröſseren Leichtigkeit und Einfachheit der Uebersicht wird hier vorläufig angenommen, daſs nur ein Lichtstrahl von verschwindender Dicke auf die Fläche des Spiegels falle, und dann gilt in ganzer Strenge, daſs der Ausfallswinkel dem Einfalls-
Fig. 114.] winkel gleich ist, also $v = w$. In der Regel nimmt man als Maſs dieser Winkel die Neigung gegen das Einfallsloth (cathetus incidentiae) a c, welche hergebrachte Bezeichnungsart ich ohne Ausnahme befolge, obgleich von mehreren Schriftstellern zuweilen oder stets die Neigung des Strahles gegen die spiegelnde Fläche $= z$ der Einfallswinkel genannt wird. Wird dieser Satz auf alle einzelne, von jedem Puncte eines gespiegelten Objectes ausgehende und reflectirte Strahlen mit Rücksicht auf die spiegelnde Fläche angewandt, so liegen hierin die Mittel zur Construction der gespiegelten Bilder.

§. 107.

Für ebene Spiegel gilt das allgemeine Gesetz, daſs die Lichtstrahlen nach der Brechung ihren Parallelismus unverändert beibehalten. Die Bilder der Gegenstände werden daher auf der spiegelnden Fläche gleichsam abgebrochen und dem Auge zugeworfen, welches dann nach optischen Regeln das Bild dahin setzt, wohin die Lichtstrahlen hinter den Spiegel verlängert das Object treffen würden.

Da es unmöglich ist, von jedem einzelnen Puncte eines Objectes die Bahn des Lichtstrahles zu zeichnen, so ge-
Fig. 115] schieht dieses nur von einigen. Es sey also ab der Durchschnitt der spiegelnden Fläche, mn das Object, so fallen zwar von jedem Puncte desselben Lichtstrahlen gegen jeden Punct in der Ebene des Spiegels, allein diejenigen, welche von den Endpunten m und n das Auge o des Beobachters treffen sollen, können blofs von den Puncten α und β reflectirt werden, wenn die mit den Einfallslothen gebildeten Winkel v w; v′ w′ einander gleich seyn sollen. Weil aber eine ganz ähnliche Construction für alle zwischen diesen Puncten liegende stattfindet, das Auge aber den Gegenstand dahin zu setzen gewöhnt ist, wohin die von ihm aus verlängerten Lichtstrahlen gerichtet sind, so mufs das Bild so weit hinter dem Spiegel erscheinen, als das Object sich vor demselben befindet, mithin in m′ n′.

Hieraus geht dann von selbst die Erklärung vieler dabei zu betrachtender Eigenthümlichkeiten hervor. Unter andern folgt, dafs in Beziehung auf die verticale Ebene, desgleichen auf die Gröfse des Objectes die Spiegelung nichts verändert, dagegen aber werden die Verhältnisse der horizontalen Ebene gegen den Beobachter umgekehrt, oder das Rechts und Links werden verwechselt. Es wird dieses am leichtesten wahrgenommen wenn man einen Schreibenden im Spiegel betrachtet, welcher dann mit der linken Hand zu schreiben scheint. Eben daher ist es schwer nach dem Bilde im Spiegel bei nicht gewohnten Operationen den Ort am Objecte zu finden. Die Gröfse des Spiegels wird ferner aus der Gröfse des Flächenschnittes durch die Lichtpyramide an derjenigen Stelle bestimmt, wo sie den Spiegel trifft, und da dieses an jedem Orte seyn könnte, so folgt, dafs auf gleiche Weise durch den kleinsten Spiegel das gröfste Gesichtsfeld (wie durch ein sehr kleines Loch optisch) übersehbar seyn müfste, wenn die Lage des Auges im Kopfe dieses nicht hinderte. Ein Spiegel, worin man sich selbst ganz betrachten soll, mufs halb so grofs, als die gespiegelte Person seyn, auch rückt das Bild scheinbar der hintern Fläche des Spiegels in gleichem Verhältnisse näher, als die Person sich der vordern nahet. Dafs man das Bild in die Verlängerung der vom Auge ausgehenden Lichtpyramide setzt, dieses zeigt sich einfach am sogenannten Operngucker, welcher die Gestalt eines holländischen Taschenfernrohrs §. 144., aber statt des Objectivglases einen um 45° gegen seine Axe geneigten Spiegel hat, so dafs man damit

also die seitwärts befindlichen Gegenstände in gerader Richtung zu sehen glaubt.

§. 108.

Das gespiegelte Bild kann wieder von einem oder mehreren Spiegeln aufgefangen werden, ehe es in das Auge gelangt. Es entsteht dadurch fortdauernd eine Verminderung der Intensität des Lichtes, der Ort aber, wohin das Auge des Object setzt, wird stets nach der angegebenen Regel bestimmt. Sind die Spiegel gegen einander geneigt, so werden sie, wenn der Neigungswinkel gröfser als 180° ist, zwei Objecte in eins vereinigen; wenn er aber kleiner als 180° ist, so wird ein Object vervielfältigte Bilder geben. Ueberhaupt ist für einen Neigungswinkel $= \varphi$ die Zahl der Bilder $= \frac{360^0}{\varphi} - 1$.

Man kann durch Spiegelung die Bilder der Objecte nach allen Seiten hin versetzen, wenn die Stärke des Lichtes dieses verstattet. Weil aber jeder Spiegel einen Lichtverlust hervorbringt, so werden die Bilder durch vielfache Spiegelung stets undeutlicher. Bekannte Apparate zur Erläuterung sind Hevel's [1]) Polemoskop, welches eigentlich
Fig. 116.] als Fernrohr eingerichtet werden sollte, in einfacherer Gestalt aber blofs aus dem Rohre A B mit den beiden einander entgegengesetzten Oeffnungen a b und den parallelen Spiegeln daselbst besteht, so dafs der Lichtstrahl durch doppelte Spiegelung von α nach β gelangt. Interessanter noch ist das Zauberperspectiv, welches aus dem viermal
Fig. 117] rechtwinklich gebogenen Rohre A B mit den 4 Spiegeln m; n; q; p besteht, wodurch der Lichtstrahl nach viermaliger Reflexion zum Auge in o gelangt. Es hat dann den Schein als ob die undurchsichtige Tafel a b das Licht durch sich hindurchlasse.

Ein Planspiegel läfst sich ansehen als aus zwei Spiegeln bestehend, welche um 180° gegen einander geneigt sind. Wird dieser Neigungswinkel gröfser, so können die Lichtstrahlen vom ganzen Objecte das Auge nicht mehr treffen, wird

---

[1]) Selenographiae Prolegomena. p. 24.

flectirt, welches daher als eben angesehen werden kann. Wird eine Tangente an diesen Punct gelegt, und die Reflexion des Lichtstrahls von dieser aus construirt, so bringt man sie auf die oben nachgewiesenen Gesetze der Spiegelung von ebenen Flächen zurück. Die gemeinsten Spiegel mit krummen Flächen sind die sphärischen, welche entstehen, wenn man den durch einen Kugelschnitt erhaltenen Theil einer hohlen Kugel polirt. Meistens geschieht dieses nur bei der einen Fläche desselben, und man erhält dann einen concaven oder convexen Spiegel. Zur Berechnung beider ist erforderlich, dafs die Chorde und der Radius der hohlen Kugel, wovon dieselben ein Segment bilden, bekannt sind, und werden diese Gröfsen bei dem lezteren negativ genommen.

Wird die Aufgabe, die Spiegelung durch krumme Flächen zu bestimmen, in ihrer Allgemeinheit genommen, so sind die krummen Spiegel Segmente von Kugeln oder Conoiden, welche indefs eine unglaubliche Menge von Veränderungen darbieten, deren Berechnung auf zahllose, zum Theil unüberwindliche Schwierigkeiten führen würde. In der Natur kommen allerdings die verschiedenartigsten spiegelnden Flächen vor, allein für optische Werkzeuge gebraucht man blofs die sphärischen, weil selbst die in vieler Hinsicht besseren parabolischen Spiegel zu schwierig in erforderlicher Genauigkeit darstellbar sind.

Die sphärischen Spiegel können als ein Segment einer hohlen Kugel betrachtet werden. Wenn man dieses auf der inneren concaven Seite polirt, so bekommt man einen concaven Spiegel, welcher auch *Hohlspiegel, Sammlungsspiegel*, und wegen seiner Kraft, die Sonnenstrahlen auf einen kleinen Raum zu concentriren, *Brennspiegel* genannt wird. Indem man auch bei diesen die Tangenten an diejenigen Puncte legen mufs, welche die einfallenden Lichtstrahlen reflectiren, um ihre Bahn zu bestimmen, so bedarf es hierzu blofs, den Mittelpunct der Kugel zu kennen, aus welcher der Spiegel erhalten wurde, von dort aus den Halbmesser in die Ebene des Spiegels auf den reflectirenden Punct zu fällen, und diesen als das Einfallsloth zu betrachten, mit welchem der einfallende und ausfallende Lichtstrahl gleiche Winkel

bilden. Wird dagegen die äufsere convexe Seite des Kugelsegmentes polirt, so erhält man einen *convexen Spiegel*, welcher auch *Zerstreuungsspiegel* genannt wird, weil er die einfallenden Lichtstrahlen nicht in einen Punct vereinigt, sondern sie zerstreuet. Die geometrische Construction ist für lezteren die nämliche als für den ersteren, nur wird aus begreiflichen Gründen der Radius negativ genommen, weil die Vereinigung der Lichtstrahlen hinter dem Spiegel stattfinden würde.

§. 110.

Ein Hohlspiegel vereinigt durch Reflexion die nahe bei der Axe parallel mit derselben einfallenden Lichtstrahlen in einen Punct, welcher der Brennpunct genannt wird, und um den halben Radius des Spiegels vor demselben liegt. Diejenigen parallelen Strahlen, welche weiter von der Axe entfernt einfallen, schneiden die Axe näher bei der Spiegelfläche, und man erhält daher kein durchaus einfaches, sondern mehrere dicht hinter einander liegende Bilder der gespiegelten Gegenstände. Die hieraus entstehende Undeutlichkeit nennt man die Abweichung wegen der Kugelgestalt, welche dem Verhältnisse der Chorde des Spiegels zum Durchmesser der Kugel, wovon er ein Segment bildet, umgekehrt proportional ist. Die von den verschiedenen Theilen eines sehr weit entfernten Objectes ausgehenden, nahe bei der Axe einfallenden, durch den Spiegel reflectirten, Lichtstrahlen müssen daher in der durch den Brennpunct desselben gelegten, und mit seinen Chorden parallelen Ebene zu einem verkehrten Bilde vereinigt werden, woraus bei der Sonne der fälschlich sogenannte Brennpunct, richtiger der Brennraum entsteht, dessen Brennkraft dem Quadrate seines Durchmessers in das Quadrat der Chorde des Spiegels directe und der Entfernung vom Spiegel umgekehrt proportional ist.

Ist a b ein Kugelsegment, welches zur Allgemeinheit Fig. 118] der Uebersicht an beiden Flächen polirt angenom.

men werden möge, c der Mittelpunct der hohlen Kugel, wovon das Segment genommen wurde, cc' die Axe des Spiegels, denkt man sich ferner die beiden Strahlen m und m'' mit der Axe parallel einfallend, fället aus dem Centrum c die beiden Halbmesser cd; cd' und legt man die Tangenten $\alpha\beta$; $\alpha'\beta'$ an die Einfallspuncte, so müssen bei geforderter Gleichheit der Winkel, welche der einfallende und ausfallende Strahl mit den Einfallslothen (hier den Radien) bilden, die reflectirten Strahlen sich in der Axe in ϱ schneiden, und dieser Durchschnittspunct derselben heifst der *Brennpunct*, dessen Abstand von der Spiegelfläche dem halben Halbmesser gleich ist, wie sich nachher ergeben wird. Indem ferner der in der Axe des Spiegels einfallende Strahl gleichfalls in diesen Punct reflectirt wird, und für alle zwischen m und m'' einfallende Strahlen das Nämliche gelten muſs, so ist hiernach der geometrische Punct ϱ der Brennpunct für alle diese Strahlen, welches in so weit richtig ist, als die Abweichung wegen der Kugelgestalt dieses nicht ändert. Schon der Anblick der Figur zeigt, daſs die auf die convexe Spiegelfläche fallenden Strahlen m' und m''' den nämlichen Gesetzen gemäſs nach n und n' reflectirt werden müssen, woraus der Gegensatz der Sammlungs- und Zerstreuungsspiegel, desgleichen das Entgegengesetzte in dem Verhalten beider anschaulich wird. Fallen parallele
Fig. 119] Lichtstrahlen ne; md in den Hohlspiegel ab, welche im Verhältniſs zum Halbmesser des Kugelsegmentes bedeutend und ungleich weit von der Axe cc' entfernt sind, so folgt bei der Gleichheit des Einfalls- und Ausfalls-Winkels schon aus dem Anblicke der Figur, daſs der der Axe nähere Strahl diese nach der Reflexion in g, also in gröſserer Entfernung von der Spiegelfläche, der von der Axe entfernter einfallende sie aber in g', also der Spiegelfläche näher, schneidet. Denkt man sich einen Hohlspiegel, welcher eine Halbkugel bildet, und nimmt den auf den äuſsersten Rand auffallenden Strahl, so steht dieser auf dem Halbmesser lothrecht, und wird also selbst nicht in die Fläche des Spiegels reflectirt werden. Hieraus ergiebt sich also, daſs bloſs die in verschwindend kleiner Entfernung von der Axe einfallenden Lichtstrahlen sich im eigentlichen Brennpuncte, oder in der Entfernung $= \frac{r}{2}$ von der Fläche des Spiegels schneiden können, alle anderen aber derselben näher rücken müssen. Bleibt der Einfallspunct e unverändert, rückt dagegen der Punct n der Axe näher oder ent-

fernt er sich mehr davon, so folgt aus der Gleichheit des Einfalls- und Ausfalls-Winkels, dafs der Punct g im ersten Falle diesseits, im zweiten jenseit der Axe zu liegen kommt. Hieraus folgt vorläufig im Allgemeinen, dafs entfernte Objecte zwar von jedem einzelnen Puncte Strahlen in den Spiegel senden, welche sich insgesammt in dem ihnen zugehörigen Puncte (dem Brennpuncte) vereinigen, dafs aber diese einzelnen Brennpuncte in einem gewissen Raume liegen, und ein Bild des Objectes erzeugen.

Die Lage des Brennpunctes im sphärischen Hohlspiegel und die Abweichung wegen der Kugelgestalt läfst sich durch eine leichte Rechnung finden. Ist nämlich g d der Fig. 120] Spiegel, a f seine Axe, c d ein Radius in denjenigen Punct, wohin der Lichtstrahl vom Objecte a fällt, welcher bei der Gleichheit des Einfalls- und Ausfalls-Winkels die beiden gleichen Winkel e d c und c d a mit dem auf die Tangente $\alpha\beta$ an d gefällten Radius c d bildet, und heifst c a = a der Abstand des Objectes vom Centro des Spiegels; c d = r und sin. f c d = sin. d c a = sin. ψ, so mufs c e der Abstand des Bildes vom Centro gesucht werden. Es ist aber nach der trigonometrischen Formel für zwei Linien und den eingeschlossenen Winkel: tang. c d a $= \frac{a \sin.\psi}{r + a \cos.\psi}$; tang. e d c $= \frac{ec \sin.\psi}{r - ec \cos.\psi}$. Beide Werthe wegen Gleichheit der Winkel einander gleichgesetzt und durch sin. ψ dividirt geben e c $= \frac{a r}{r + 2a \cos.\psi}$. Je kleiner hierin ψ ist, um so mehr kann e c $= \frac{a r}{r + 2a}$ gesetzt werden, welche Formel man daher allgemein anwendet, um den Abstand des Bildes von der Fläche eines wenige Grade enthaltenden sphärischen Spiegels zu bestimmen. Ist a unendlich, d. h. kommen die Strahlen von so entfernten Gegenständen, dafs der Halbmesser und die Chorde des Spiegels dagegen als verschwindend anzusehen sind, so wird e c $= \frac{1}{2}$ r, d. h. die parallel mit der Axe einfallenden Strahlen werden in der Axe in der Entfernung $= \frac{1}{2}$ r vom Mittelpuncte, und also auch von der Oberfläche des Spiegels in einen Punct vereinigt, welchen man den Brennpunct nennnt, weil die geforderte unendliche Entfernung zunächst von den Sonnenstrahlen gilt. Umfafst der Spiegel mehrere Grade, so dafs der Winkel ψ nicht als verschwindend zu betrachten ist, so werden die

nahe bei der Axe einfallenden Strahlen in der Entfernung $\frac{ar}{r+2a}$, die weiter von derselben einfallenden in der Entfernung $\frac{ar}{r+2a\cos.\psi}$ die Axe schneiden. In dem Zwischenraume zwischen diesen beiden Gröfsen, welcher dem Unterschiede $\frac{ar}{r+2a\cos.\psi} - \frac{ar}{r+2a}$ gleich ist, müssen also die sämmtlichen Bilder der Gegenstände in der Axe hinter einander liegen, und die hieraus entstehende Undeutlichkeit ist Folge der sogenannten *Abweichung wegen der Kugelgestalt*, welche für einen unendlichen Werth von a in $\frac{1}{2}$ r (sec. ψ — 1) übergeht.

Dafs sich die gesammten vom Hohlspiegel aufgefangenen und reflectirten Sonnenstrahlen nicht in einen einzigen Punct vereinigen, also keinen geometrischen Brennpunct bilden, geht nach dem oben Gesagten schon daraus klar hervor, dafs die Sonne ein Körper ist, welcher daher im Hohlspiegel ein Bild erzeugen mufs. Vielmehr befindet sich das verkleinerte Sonnenbild (der Brennraum) im geometrischen Brennpuncte des Spiegels, und giebt so viel mehr Hitze, je mehr Sonnenstrahlen von einem grofsen Spiegel aufgefangen, und in einen möglichst kleinen Raum vereinigt werden. Wegen der Gleichheit der Winkel hde und adb hat man die Proportion : tang. hdb. : tang. abd = hd : r. Insofern aber von den nahe bei der Axe einfallenden Lichtstrahlen die Rede ist, für hd also die Brennweite gesetzt werden kann, und tang. adb durch den scheinbaren Halbmesser der Sonne, im Mittel = 16 Min. 8 Sec. gegeben ist, so erhält man für die halbe Tangente des Brennraumes, oder bei der Kleinheit des Winkels für den Halbmesser des Brennraumes ϱ = f tang. 16 Min. 8 Sec. = f 0,004693, wenn f die Brennweite des Spiegels ist. In Worten ausgedrückt heifst dieses: der Halbmesser des verkleinerten Sonnenbildes, oder des vorzugsweise sogenannten Brennraumes = ϱ ist dem Producte der Brennweite = f in die Tangente des scheinbaren Halbmessers der Sonne gleich. Der Kürze wegen wird der Halbmesser der Sonne zu 16 Min. angenommen, und ist dann = 0,00465 = $\frac{1}{216}$, weswegen man den Halbmesser des Brennraumes dem 216ten Theile der Brennweite gleich setzt. Da sich ferner die Intensitäten des Lich-

tes umgekehrt wie die auffangenden Flächen verhalten, so ist, die Intensität des Sonnenlichtes $=$ i des Brennraumes $=$ I, die halbe Chorde des Spiegels $=$ s gesetzt, $I = \frac{i s^2}{\varrho^2} - k$, worin k einen veränderlichen Coefficienten für den Verlust des Lichtes durch das Eindringen in die Masse des Spiegels und die Absorption der Luft bezeichnet. Vergl. §. 119. Man sieht aus dieser Formel, dafs die Brennkraft der Spiegel den Quadraten der Brennweiten umgekehrt, dem Flächeninhalte der Spiegel aber directe proportional ist. Indefs schadet die Abweichung wegen der Kugelgestalt zu sehr, als dafs es vortheilhaft wäre, grofse Spiegel stark zu krümmen [1]).

Man sieht leicht, dafs grofse Brennspiegel mit langen Brennweiten unter die schwierigsten Probleme gehören [2]). Merkwürdig ist die Sage, dafs Archimedes die römische Flotte mit Brennspiegeln verbrannt habe. Weil die Erzählung aber erst bei späteren Schriftstellern, Zonaras und Tzetzes vorkommt, so hat man sie für unächt gehalten, indefs hat van Capelle [3]) zu beweisen gesucht, dafs die Nachricht des Stillschweigens gleichzeitiger Schriftsteller ungeachtet dennoch wohl begründet seyn kann [4]). Interessant sind Büffon's Versuche mit Brennspiegeln, welche er aus einzelnen 6 Z. hohen und 8 Z. breiten Planspiegeln zusammensetzte. Ein solcher von 128 Gläsern entzündete in 150 F. Entfernung ein getheertes Brett [5]). Man gebraucht jetzt die Brennspiegel hauptsächlich als Reverberen (Lichtträger, Portelumière nach Lambert [6]), um das Licht der Leuchtthürme auf weite Strecken fortzupflanzen. Die von Lenoir verfertigten parabolischen Reverberen konnten in 80000 F. Entfernung noch mit blofsen Augen deutlich gesehen werden, allein da sie das Licht auf einen geringen Raum concentriren, so läfst man sie in einem

---

[1]) Vergl. Fischer in Bode astr. Jahrb. 1808. S. 136.

[2]) S. Klügel zu Priestley's Gesch. d. Opt. 104. wo p. 171 über die grofsen Tschirnhausenschen, Höseschen u. Villetschen Brennspiegel Nachricht gegeben wird.

[3]) Gilb. Ann. LIII. 274.

[4]) Vergl. Oetinger de speculo Archimedis. Tüb. 1725. 4. Silberschlag Klosterbergische Versuche p. 149.

[5]) Mém. de Paris 1747. p. 83. 1748. p. 305.

[6]) Mém. de Berlin. 1770. p. 51.

Kreise herumgedrehet werden, um in Absätzen das Licht an den verschiedensten Orten zu erblicken [1]).

§. 111.

Die krummen Spiegel geben Bilder, sowohl von selbstleuchtenden, als auch von erleuchteten Gegenständen. Aus den angegebenen Gesetzen der Reflexion folgt, dafs die Hohlspiegel nahe Gegenstände vergröfsert, gerade und hinter dem Spiegel, ferne Gegenstände aber verkleinert, verkehrt und vor dem Spiegel liegend darstellen. Wenn das Object sich in dem Brennpuncte des Spiegels befindet, so werden die reflectirten Strahlen parallel, und das gerade Bild geht in das verkehrte über, oder umgekehrt, in welchen beiden Fällen kein Bild möglich ist. Die durch einen Hohlspiegel erzeugten Bilder lassen sich durch einen oder mehrere andere auffangen und willkührlich versetzen.

Dafs ein vor dem Hohlspiegel befindliches Object durch Reflexion der Strahlen bei der für jeden Punct des Spiegels stattfindenden Gleicheit des Einfalls- und Ausfalls-Winkels ein Bild geben müsse, ist schon oben §. 110. im Allgemeinen angegeben, noch deutlicher aber ergiebt die Zeichnung, dafs ein entferntes Object ab ein verkleinertes und verkehrtes Bild $\alpha\beta$ geben müsse. Allerdings werden die von b ausgehenden, und in d reflectirten Lichtstrahlen die Axe in geringerer Entfernung von der Spiegelfläche schneiden (wie aus der mitgetheilten Formel folgt), allein es ergiebt sich zugleich aus der Construction der von δ reflectirten Strahlen, dafs im Raume $\alpha\beta$ die meisten Strahlen vereinigt werden, welche daher das schärfste Bild und demnach bei der Sonne den oben genannten Brennraum geben. Befindet sich also ein Theil des Objectes in der Axe des Spiegels, so liegt das Bild dieses Punctes gleichfalls in der Axe, und zwar in derjenigen Entfernung von der Spiegelfläche, welche durch die Entfernung des Objectes vom Centrum des Spiegels bedingt wird; eine durch diesen Punct gelegte Ebene des Bildes ist der durch das Object gelegten Ebene verkehrt correspondirend. Hiernach läfst sich die

Fig. 121]

[1]) Ann. de Chim. XCVI. 69.

Lage der Bilder vor oder hinter dem Hohlspiegel leicht aus der §. 110. angegebenen Formel $\frac{a r}{r+2 a}$ ableiten. Von a $=\infty$ angenommen, in welchem Falle die Entfernung des Bildes vom Centrum des Spiegels $= \frac{1}{2}$ r ist, kann a stets abnehmen, und wird dann das Bild dem Mittelpuncte des Spiegels stets näher rücken, oder sich weiter von seiner Fläche entfernen. Wird a $=$ r, oder ist das Object um den doppelten Halbmesser von der Spiegelfläche entfernt, so ist der Abstand des Bildes vom Centrum $= \frac{r}{3}$; für a $=$ $\frac{1}{2}$ r ist derselbe $= \frac{r}{4}$; wird aber a $=$ o so ist der Abstand des Bildes gleichfalls $=$ o, d. h. das Bild liegt im Centrum des Hohlspiegels, und es fallen Object und Bild zusammen, wenn ersteres in der Axe ist. Von hieran wird a nagativ, und auch der Abstand des Bildes vom Centrum muſs negativ werden, d. h. das Object rückt vom Centro des Spiegels seiner Oberfläche näher, das Bild aber entfernt sich von beiden, so lange — a kleiner als — $\frac{1}{2}$ r ist, wie z. B. für a $= - \frac{r}{3}$ der Abstand des Bildes $=$ — r wird, d. h. das Bild ist den doppelten Halbmesser des Spiegels von seiner Fläche entfernt. Für a $=$ — $\frac{1}{2}$ r wird der Abstand unendlich, d. h. es befindet sich das Object im Brennpuncte, und das Bild in unendlicher Entfernung, so daſs beide ihre Oerter verwechselt haben. Wächst das negative a bis — r, so ist der Abstand des Bildes gleichfalls $=$ r, d. h. Object und Bild berühren sich in der Fläche des Spiegels. Nachdem nämlich für — a $=$ — $\frac{1}{2}$ r der Abstand des Bildes unendlich geworden ist, muſs lezteres bei einer Vermehrung von — a an einem entgegengesetzten Orte erscheinen, als für alle bisherigen Werthe von a, und dieses ist allerdings der Fall, indem dasselbe hinter dem Spiegel erscheint, u. z. um so entfernter, je weniger — a gröſser ist, als — $\frac{1}{2}$ r, indem bei der unmerklichen Vermehrung dieses Werthes die negativ unendliche Entfernung des Bildes in die positiv unendliche übergeht. Wächst diese Vermehrung, und erhält den Werth $=$ — $\frac{1}{2}$ r — b, so wird die Formel $\frac{-\frac{1}{2} r^2 - b r}{-2 b}$ $= \frac{1}{2} r + \frac{1}{4} \frac{r^2}{b}$, welche einen desto gröſseren Werth giebt, je kleiner b ist.

Die hier mitgetheilten Sätze lassen sich durch bloße Construction anschaulich machen. Wie ein entfernter Gegenstand verkleinert vor dem Hohlspiegel stehend von dem Auge wahrgenommen werden müsse, wenn dasselbe nicht durch anderweitiges stärkeres Licht gegen diesen Eindruck Fig. 122] unempfindlich ist, geht aus der eben erläuterten Figur hervor, und eben so leicht übersieht man, warum ein nahe liegendes Bild mit Rücksicht auf die Entfernung des Auges gerade und vergrößert erscheinen muß [1]).

§. 112.

Convexe Spiegel, bei deren Construction ein negativer Brennpunct angenommen wird, sind zwar in ihren Wirkungen den concaven entgegengesetzt, allein da sie die Bilder nicht umzukehren vermögen, können sie dieselben auch nicht vergrößern. Sie geben daher bloß verkleinerte, hinter der Spigelfläche liegende Bilder.

Die so eben bei §. 111. bei Hohlspiegeln angewandte Formel läßt sich auch für convexe Spiegel benutzen, wenn man berücksichtigt, daß bei diesen der Abstand des Objectes $= a$ und der Halbmesser des Spiegels $= r$ negativ sind. Dieses vorausgesetzt erhält man für den Abstand des Bildes $\frac{-a \times -r}{-r-2a} = \frac{ar}{-(2a+r)} = \frac{-ar}{2a+r}$. Hieraus ergiebt sich, daß das Bild nie vor den Spiegel zu liegen kommt, weil die Formel für keinen Werth von a und r positiv wird. Je kleiner ferner a ist, einen desto kleineren Werth giebt die Formel, d. h. je näher das Object der vorderen Spiegelfläche kommt, desto näher rückt das Bild der hinteren. Ist z. B. $a = r$, oder befindet sich das Object in der Entfernung des Halbmessers von der Spiegelfläche, so erhält man $-\frac{r^2}{3r} = -\frac{1}{3}r$; für $a = \frac{1}{2}r$ wird $\frac{1}{4}r$ und für $a = 2r$ wird $\frac{2}{5}r$ gefunden. Auf allen Fall steht das Bild der hinteren Spiegelfläche näher, als das Object, aus welchem

[1]) S. systematische Darstellung der Erscheinungen, welche der sphärische Hohlspiegel gewährt, von A. W. Zachariae. 1812. 8. Dessen Nachträge hierzu in Gilb. Ann. XLVI. 315. Kaestner de objecti in speculo sphaer. visi magnit. apparente in Comment. nov. Gott. 1777.

Gründe und zugleich wegen ihrer Eigenschaft zu verkleinern man diese Spiegel zur Darstellung und selbst zum Zeichnen der Landschaften gebrauchen kann.

Es folgt hieraus, dafs ein convexer Spiegel ein verkleinertes Bild hinter dem Spiegel zeigen müsse, weil seine Wirkung die umgekehrte eines Hohlspiegels bei einem nahen Objecte ist, oder weil er den Ort des Objectes und des Bildes bei diesem umkehrt. Ist also ab ein convexer Spiegel, f dessen negativer Brennpunct, sind cp; cp′ Einfallslothe, Mp′; Np einfallende Strahlen, so sieht das Auge bei der Gleichheit der Einfalls- und Ausfalls-Winkel das verkleinerte Bild in mn, statt dafs es von lezterem als Object angenommen im Hohlspiegel ein vergröfsertes Bild in NM wahrnehmen würde.
Fig. 123]

§. 113.

Sind die Spiegel nicht regelmäfsig gekrümmt, so können die Bilder nicht regelmäfsig verkleinert oder vergröfsert werden, sondern müssen verzerrt erscheinen. Unter diese Classe gehören auch diejenigen spiegelnden Flächen, welche nach dem einen Durchschnitte gerade, nach dem andern aber regelmäfsig gekrümmt sind, deren Einflufs auf die Veränderung der Bilder leicht nachgewiesen werden kann. Es folgt von selbst, dafs sie die, im entgegengesetzten Verhältnisse der durch sie hervorgebrachten Veränderung, verzerrten Bilder wieder herstellen müssen.

Hierhin gehören die länglichkrummen, die cylindrischen und konischen Spiegel, und die vermittelst derselben erzeugten katoptrischen Anamorphosen [1]). Einige derselben lassen sich leicht begreifen und darstellen, namentlich diejenigen, welche mit cylindrischen convexen und concaven Spiegeln erzeugt werden, unter denen die ersteren die gebräuchlichsten sind. Es ist nämlich klar, dafs ein convexer Cylinderspiegel die verticalen Durchschnitte der gespiegelten Objecte unverändert darstellt, die horizontalen dagegen verkleinert. Nähert man ihm daher Bilder, welche in der horizontalen Ebene in dem nämlichen Verhältnisse gröfser

[1]) S. Leupold anamorphosis mechanica nova. Lips. 1714. 4.

sind, als sie durch den Spiegel verkleinert werden, so wird ihre Verzerrung durch lezteren aufgehoben. Die partiellen Krümmungen ebener Spiegel entdeckt man durch das Wanken der Bilder, wenn man das Auge in einer mit der Spiegelfläche parallelen Ebene bewegt.

3) Dioptrik oder Brechung des Lichtes.

§. 114.

Wenn ein Lichtstrahl aus dem leeren Raume auf durchsichtige Mittel fällt, oder von einem Medio in das andere übergeht, so wird er von der geraden Linie beim Eintritt in den transparenten Körper abgezogen, oder er wird gebrochen. Die Brechung findet an der Grenze der Körper in unmeſsbar kleinem Abstande von derselben statt, und bewirkt bei den verschiedenen Medien, daſs der Lichtstrahl dem Einfallslothe zu- oder abgebrochen wird.

Der Ausdruck, daſs ein Lichtstrahl gebrochen werde, läſst sich als Bezeichnung einer bekannten Erscheinung völlig rechtfertigen. Der Lichtstrahl wird nämlich in unmeſsbarer Entfernung von der Oberfläche des brechenden Körpers genau so von seiner geraden Richtung abgelenkt, daſs er, unter dem Bilde eines wirklichen Strahles vorgestellt, im eigentlichen Sinne als gebrochen anzusehen ist. Die Ursache der Brechung muſs, eben wie die der Spiegelung, im brechenden Körper liegen, und hieraus folgt, wie man
Fig. 124] dieselbe auch annehmen mag, daſs ein im Einfallslothe mc liegender Lichtstrahl, wenn er an der Grenze des brechenden Körpers ab ankommt, von seiner Bahn nicht abgelenkt, nicht gebrochen werden kann, sondern gerade hindurchgehen muſs. Bildet er dagegen mit dem Einfallslothe einen Winkel, z. B. mcn, so wird er in der Berührung des brechenden Körpers gebrochen, und zwar dem Einfallslothe kc sich nähernd, wenn er aus einem minder brechenden Mittel oberhalb ab in ein stärker brechendes unterhalb ab übergeht, dagegen vom Einfallslothe mc ab, wenn die angegebene Bedingung die entgegengesetzte ist. Die hiernach von selbst sich ergebenden Sinusse gi; hk; nm heiſsen dann die Einfalls- und Brechungssinusse, und

die Erfahrung ergiebt, daſs diese Sinusse bei den nämlichen Körpern, so lange sie ihre Dichtigkeit nicht ändern, ihr Verhältniſs unverändert beibehalten. Wäre z.B. unterhalb ab Glas und oberhalb desselben Luft, so würde ein von n nach c ausgehender Lichtstrahl ohne Brechung nach f gelangen, da aber für Luft und Glas das Brechungsverhältniſs nahe genau 3:2 ist, so ist nm = 3 wenn hk = 2 ist; für Luft und Wasser dagegen ist jenes Verhältniſs = 4:3 und diesemnach ist mn = 4 wenn ig = 3 ist. Welche Bahn der Lichtstrahl hiernach durchläuft, je nachdem er aus Glas oder Wasser in Luft, oder umgekehrt aus dieser in jene fällt, läſst sich leicht bestimmen.

Die Erscheinungen der Lichtbrechung lassen sich nach der Emanationshypothese sehr leicht erklären. Jedes brechende Mittel wirkt nämlich anziehend auf das Licht, und hierdurch muſs also die Bewegung des Lichtstrahls beschleunigt werden, wenn derselbe aus dem leeren Raume auf ein brechendes Mittel fällt, oder aus einem weniger brechenden in ein mehr brechendes übergeht, und in beiden Fällen muſs wegen der Feinheit und Geschwindigkeit des Lichtes, wogegen alle irdische Dimensionen verschwinden, die Wirkung sich in unmeſsbarer Entfernung von der Oberfläche des brechenden Körpers zeigen. Die Erscheinungen werden im Allgemeinen schon klar, wenn man sich nur die anziehenden Kräfte auf den Lichtstrahl wirkend vorstellt, in welchem Falle derselbe beim Eintritte in das brechende Mittel nach mechanischen Gesetzen nothwendig von seiner geraden Richtung abgelenkt werden muſs; man stellt indeſs die Sache auf folgende Weise bestimmter dar. Ist abcd
Fig. 125] ein von parallelen Flächen begrenzter lichtbrechender Körper, bezeichnet $\alpha\beta$; $\alpha'\beta'$ die verschwindend kleine Entfernung von seiner Oberfläche an, bis zu welcher sich seine anziehende Kraft erstreckt, so wird der Lichtstrahl mn zwar in seiner Bewegung beschleunigt werden, sobald er bei v in die Anziehungssphäre des brechenden Körpers tritt, allein er kann seine Richtung nicht ändern, weil die Kräfte allseitig gleichmäſsig auf ihn wirken. Bildet dagegen der Lichtstrahl pq einen gewissen Winkel mit dem Einfallslothe, so kommt zu den ihn bewegenden Kräften eine neue, lothrecht auf die Fläche ab und stetig wirkend, welche ihn also bei seinem Eintritte w in die Wirkungssphäre des ananziehenden Körpers eine gegen dessen Fläche gekrümmte Bahn wr zu durchlaufen nöthigt, an welcher seine ursprüngliche Richtung im Anfangspuncte der Krümmung als

Tangente anliegt. Ist derselbe in den Körper selbst bei r eingedrungen, so hört die Wirkung der anziehenden Kräfte deswegen auf, weil sie ihn nach allen Seiten hin sollicitiren, und er wird sich also mit einer durch die Natur des brechenden Mittels bedingten veränderten Geschwindigkeit in gerader Richtung bis nach s bewegen. Beim Austritte aus dem brechenden Körper in s wird der Lichtstrahl dem nämlichen Einflusse, aber in entgegengesetzter Richtung, unterworfen seyn, so lange er sich in der Anziehungssphäre des Körpers befindet, bis er bei u aus derselben tritt, und in der Richtung der Tangente an den äufsersten Punct der durchlaufenen Curve sich weiter bewegt. Weil endlich die Wirkungen auf beiden Seiten des durch parallele Flächen begrenzten Körpers einander gleich und entgegengesetzt sind, so müssen sie einander aufheben, und der Lichtstrahl in gerader Richtung bewegt scheinen. Newton, der Schöpfer dieser Theorie, fand aufserdem, dafs die allgemeinen Bewegungsgesetze auch auf diese Erscheinungen Anwendung leiden. Die Wirkungen beschleunigender Kräfte verhalten sich nämlich wie die Quadrate der erzeugten Geschwindigkeiten. Ist diesemnach der Einfallssinus $=$ sin. i; der Brechungssinus $=$ sin. r, so ist $\frac{\text{sin. i}}{\text{sin. r}}$ das Brechungsverhältnifs, welches für alle brechende Körper ein beständiges ist, wie auch der Einfallswinkel seyn mag. Setzt man aber die Geschwindigkeit vor der Brechung $= 1$; nach derselben $= c$, so ist $c^2 - 1 = d^2 = \frac{\text{sin.}^2\, i}{\text{sin.}^2\, r} - 1$, welches dann die brechende Kraft des Mittels heifst.

Nach der Undulationstheorie wird angenommen, dafs die Lichtwellen, oder die Undulationen des im leeren Raume verbreiteten Lichtäthers entweder die Masse der durchsichtigen Körper selbst, oder den in ihnen enthaltenen Lichtäther gleichfalls in schwingende Bewegungen versetzen. Dafs der Lichtäther in verschiedene Körper eindringen müsse, läfst sich schon aus theoretischen Gründen annehmen, und folgt auch aus vielen Erscheinungen phosphorescirender Körper §. 96; allein es ist nicht wahrscheinlich und der Analogie mit andern Phänomenen nach nicht wohl möglich, dafs die Schwingungen desselben auf gleiche Weise frei und ohne Modification durch die wägbaren Körper, an welche er gebunden ist, eben so stattfinden könnten, als im leeren Raume. Auf allen Fall müssen also dieselben durch die

wägbaren Körper modificirt werden, und es ist vielmehr wahrscheinlich, daſs diese lezteren selbst gleichzeitig in schwingende Bewegungen versetzt werden. Beides führt Fig. 126] indeſs zu den nämlichen Resultaten. Ist demnach ab die Fläche des brechenden Körpers; c der Einfallspunct des Lichtstrahles und mc das Einfallsloth, so ist $\alpha\beta$ die sphärische Welle, mit welcher der Lichtstrahl die Oberfläche des durchsichtigen Körpers trifft, und deren Halbmesser pc ist. Würde die Richtung der Wellen durch den Einfluſs des durchsichtigen Körpers gar nicht modificirt, so würde die dem Halbmesser cr = pc zugehörige Welle $\varkappa\lambda$ die nächste seyn, und der Lichtstrahl in der Richtung pcr sich bewegen; eine ohne Rücksicht auf die Richtung des Lichtstrahl's gegen die Fläche des Körpers und bloſs in Beziehung auf leztere erzeugte Welle $\gamma\delta$ würde dagegen dem Halbmesser cn in der auf die Fläche senkrechten Verlängerung des Einfallslothes zugehören. Aus beiden entsteht, nach dem Brechungsverhältniſs des Körpers, d. h. jenachdem die diesem an sich und unmittelbar zugehörige Welle $\gamma\delta$ mehr oder weniger durch die dem Lichtstrahle allein zugehörige $\varkappa\lambda$ modificirt wird, die $\varepsilon\eta$, welche dem Halbmesser cq zugehört. Hierbei muſs das Verhältniſs des Einfallssinus qt und des Brechungssinus rs gleichfalls bei den nämlichen Substanzen ein constantes seyn, auch findet nach der Theorie der Wellenbewegung das oben angegebene Gesetz, daſs $c^2 - 1 = d^2 = \frac{\sin.^2 i}{\sin.^2 r} - 1$ ist, gleichfalls statt [1]).

§. 115.

Die zahlreichsten Versuche über das Brechungsvermögen der verschiedenen Körper hat Newton angestellt, und die Resultate seiner genauen Messungen sind nachher im Allgemeinen bestätigt worden. Ein allgemeines Gesetz der Brechung, welches auf die individuelle Beschaffenheit der verschiedenen Körper gegründet wäre, hat man bisher noch nicht aufgefunden, ausgenommen daſs bei denselben Substanzen das Brechungsvermögen mit der Zunahme ihrer Dichtigkeit wächst. Uebrigens ist das Brechungsvermögen dem

---

1) Vergl. Fresnel in Ann. de Chem. et Phys. XXI. p. 213. Baumgartner Naturlehre. p. 285.

specifischen Gewichte weder directe noch auch umgekehrt proportional, wohl aber ist dasselbe im Allgemeinen bei den verbrennlichen Körpern vorzüglich stark, und bei den individuellen Substanzen so gleichbleibend, dafs sich sogar das quantitative Mischungsverhältnifs durchsichtiger Medien in den meisten Fällen mit Genauigkeit hiernach bestimmen läfst.

Die durch Newton [1]) aufgefundenen Bestimmungen des Brechungsvermögens der verschiedenen Körper stehen wegen ihrer Genauigkeit noch gegenwärtig in grofsem Ansehen. Dafs dasselbe dem spec. Gewichte nicht proportional sey, übersieht man bald. So ist es z. B. beim Alkohol gröfser als beim Wasser, und selbst bei den Gasarten wurde das Nämliche durch Dülong [2]) gefunden, indem z. B. ölerzeugendes Gas und Kohlenoxydgas fast gleiches spec. Gewicht und fast ein doppeltes Brechungsvermögen haben. Dagegen wird dasselbe bei den nämlichen Körpern ihrer veränderlichen Dichtigkeit allezeit direct proportional gefunden. Die in der nachfolgenden Tabelle enthaltenen Bestimmungen sind durch Newton gefunden. Dabei ist der Einfallswinkel $=$ sin. i; der Brechungswinkel $=$ sin. r, und $\frac{\text{sin i}}{\text{sin. r}}$ $=$ dem beständigen Verhältnisse beider. Es ist ferner $d^2 = \frac{\sin.^2 i}{\sin.^2 r} - 1 =$ der brechenden Kraft der Körper. Heifst dann ferner das spec. Gewicht der Körper $= p'$, so bezeichnet $\frac{d^2}{p'}$ das specifische Brechungsvermögen derselben

Brechende Körper	sin. i : sin. r	d^2	p'	$\frac{d^2}{p'}$
Schwerspath	23 : 14	1,699	4,27	3979
Luft	3201 : 3200	0,000625	0,0012	5208
Spiefsglanzglas	17 : 9	2,568	5,28	4864
Gyps	61 : 41	1,213	2,252	5386
Glas, gemeines	31 : 20	1,4025	2,58	5436
Bergkrystall	25 : 16	1,445	2,65	5450
Doppelspath	5 : 3	1,778	2,72	6536
Kochsalz	17 : 11	1,388	2,143	6477

[1]) Optice I. p. II. prop. X. Vergl. Biot Traité III. p. 296.
[2]) Ann. Ch. et Phys. XXXI. 154.

Brechende Körper	sin. i : sin. r	d^2	p'	$\frac{d^2}{p'}$
Alaun	35 : 24	1,1267	1,714	6570
Borax . . .	22 : 15	1,1511	1,714	6716
Salpeter . . .	32 : 21	1,345	1,9	7079
Danziger Vitriol	303 : 200	1,295	1,715	7551
Vitriolöl . . .	10 : 7	1,041	1,7	6124
Regenwasser .	529 : 396	0,7845	1,00	7845
Arab. Gummi .	31 : 21	1,179	1,375	8574
Alkohol . . .	100 : 73	0,8765	0,866	10121
Kampfer . . .	3 : 2	1,25	0,996	12551
Baumöl . . .	22 : 15	1,1511	0,913	12607
Leinöl . . .	40 : 27	1,1948	0,932	12819
Terpentinspiritus	25 : 17	1,1626	0,874	13222
Ambra . . .	14 : 9	1,42	1,04	13654
Diamant . . .	100 : 41	4,949	3,4	14556

Die lezte Columne ist zur Vermeidung der Decimalbrüche mit 10000 multiplicirt, und zeigt die grofse lichtbrechende Kraft verbrennlicher Körper, vorzüglich des Diamants, dessen Verbrennlichkeit Newton eben hieraus hundert Jahre vor der Entdeckung derselben folgerte.

Brewster [1]) macht eine Menge neuer Versuche über die brechende Kraft verschiedener Substanzen bekannt. Nach einem sinnreich erdachten Verfahren legt er unter die Linse eines gemeinen Mikroskop's eine dünne Glasplatte mit parallelen Flächen, bringt auf diese einen Tropfen der zu untersuchenden Substanz, drückt die Linse dagegen, und formirt auf diese Weise eine planconcave Linse, welche den Abstand des deutlich gesehenen Objectes vergröfsert. Aus der Gröfse dieses Abstandes, verglichen mit dem Abstande bei der Anwendung eines Wassertropfens, berechnet er die lichtbrechende Kraft. Nach diesen Versuchen findet er, dafs der Diamant nicht die stärkste Lichtbrechung besitzt. Unter andern sind folgende Bestimmungen der stärksten Brechungen von ihm gefunden:

Chromsaures Blei — — — — — — —	2,974
anderes Stück — — — — — — —	2,926
Realgar — — — — — — — — —	2,549
Chromsaures Blei, schwächste Brechung —	2,503
anderes Stück — — — — — — —	2,479
Diamant — — — — — — — —	2,487

[1]) Treatise on new phil. instrum. Edinb. 1813. p. 240—283 im Auszuge in Phil. Trans. 1813. p. 106. Gilb. Ann. L. p. 21.

von der durch Versuche = 0,7845 gefundenen wahrscheinlich wegen der grofsen Dichtigkeit des Wassers abweicht.

Spätere schätzbare Versuche über die lichtbrechende Kraft der Gase sind von Dülong[1]). Für gleiche Elasticitäten, die der atmosphärischeu Luft als Einheit angenommen, erhielt er folgende Werthe:

Namen.	Brechungskraft.	Dichtigkeit.
Oxygen	0,924	1,1026
Hydrogen	0,470	0.0685
Stickgas	1,020	0,976
Chlor	2,623	2,47
Stickstoffoxyd	1,710	1,527
Salpetrigs. Gas	1,03	1.039
Salzsäure	1,527	1,254
Kohlenoxyd	1,157	0,972
Kohlensäure	1,526	1,524
Cyan	2,832	1,818
Oelerzeugendes Gas	2,302	0,980
Sumpfluft	1,504	0,559
Salzätherdampf	3,72	2,234
Hydrocyansäure	1,531	0,944
Ammoniakgas	1,309	0,591
Oxy. chloro. carbonisches Gas	3,936	3,442
Schwefelwasserst. Gas	2,187	1,178
Schweflichs. Gas	2,260	2,247
Schwefelätherdampf	5,280	2,580
Schwefelkohlenstoff	5,179	2,644

Auch Dülong fand die Brechungskraft der Zusammensetzungen der Summe der einzelnen Bestandtheile gleich. Indefs ist sie bei alkalischen oder neutralen Verbindungen etwas gröfser, bei sauern etwas kleiner, als die Rechnung ergiebt.

Die durch Brechung des Lichtes erzeugten Phänomene sind höchst zahlreich, und leicht zu beobachten, wenn es auf keine eigentliche Messung ankommt. Legt man auf ein Fig. 127] Brettchen ab mit einem auf demselben aufgerichteten kleineren bc einen gläsernen Würfel, und unter diesen einen Streifen Papier in β, so wird das Auge in o diesen in der Richtung oγ wahrnehmen, aber er wird mit Weg-

[1]) Ann. Ch. et Phys. XXXI. 154. Nouv. Bullet. de la Soc. philom. 1825. Sept. p. 133.

nahme des Würfels verschwinden. Aus der Gröfse des Winkels $\gamma\alpha\beta$ bestimmte Kepler das Brechungsvermögen der Körper, und nannte den Apparat *anaklastisches Werkzeug*. Legt man unter eine bis 1 Z. und darüber dicke Glasplatte ein Papier mit Buchstaben oder Figuren, so rücken diese der oberen Fläche so viel näher, das Glas erscheint also so viel dünner, je geneigter die Richtung des Auges gegen die Oberfläche des Glases und je gröfser das Brechungsvermögen desselben ist. Aus gleichem Grunde scheint der Boden eines hellen Wassers weit weniger tief, als er wirklich ist. Wird irgend eine gerade Stange ins Wasser getaucht, so erscheint sie seitwärts gesehen in der Oberfläche der Flüssigkeit als abgebrochen. Drei Stifte in einer Leiste so befestigt, dafs sie sämmtlich in derselben Ebene liegen, erscheinen in einer gebrochenen Ebene, wenn man die Leiste bis an den mittleren Stift ins Wasser senkt. Dahin gehört auch der be-
Fig. 128] kannte Versuch, eine in einer Untertasse liegende, wegen der Ränder derselben nicht sichtbare Münze durch aufgegossenes Wasser sichtbar zu machen. Liegt dieselbe nämlich in m, so kann weder nach o noch nach o' ein Lichtstrahl von derselben gelangen. Ist aber das Gefäfs mit Wasser gefüllt, so erhebt sie sich durch Lichtbrechung scheinbar bis m' und wird sichtbar.

Es folgt aus dem angegebenen Gesetze, wonach sin. i : sin. r für die nämlichen Körper eine stets gleichbleibende Gröfse geben, dafs die Brechung sich in Zurückstrahlung verwandeln mufs, oder dafs der gebrochene Strahl bei hinlänglicher Vergröfserung des Einfallssinus gar nicht aus dem brechenden Mittel tritt, weil der Brechungssinus nicht gröfser als sin. $90^\circ = 1$ werden kann. Wenn aslo das Ver-
Fig. 124] hältnifs des sin. h k $= \frac{2}{3}$ a zu dem sin. m n $=$ a unverändert bleibt, und man vergröfsert den ersteren, bis er nahe $=$ a wird, so müfste lezterer nahe $= \frac{3}{2}$ a werden, und da dieses unmöglich ist, so mufs Zurückstrahlung entstehen. Sinnlich vorstellbar wird dieses, wenn man den Punct h im Kreise nach b hin weiter rückt, und das Verhältnifs h k : m n als bleibend denkt, in welchem Falle nothwendig n früher unter a herabkommt, als die Linie h c mit b c zusammenfällt. Ist demnach a c b der Durchschnitt eines
Fig. 129] Glasprisma, in welches der Lichstrahl $\alpha\beta$ fällt, so wird dieser bei d nicht aus dem Glase fallen können, sondern nach γ reflectirt werden, dort abermals eine Reflexion erleiden, und bei δ in das Auge des Beobachters fallen. Schon Newton schlug den Gebrauch eines solchen Prisma

statt der Oculare bei Fernröhren vor, wozu sie auch jetzt mit grofsem Nutzen angewandt werden §. 145., weil sie alles auffallende Licht reflectiren, und folglich blofs so viel verloren wird, als die ungleiche, und nie absolute Durchsichtigkeit derselben erzeugt. Sonst wendet man dieselben zu den Patent-Boussolen, zur camera lucida und zur camera obscura an. §. 139.

§. 116.

Sind durchsichtige Mittel von verschiedener Dichtigkeit oder lichtbrechender Kraft mit einander in unmittelbarer Berührung, so wird der durchgehende Lichtstrahl dem Perpendikel bald zu, bald abgebrochen werden. Am gemeinsten ist der Fall, dafs verschiedene Schichten von einer allmälich wachsenden Dichtigkeit über einander liegen, wodurch der durchgehende Lichtstrahl unter den erforderlichen Bedingungen eine regelmäfsig gekrümmte Richtung erhält. Eine Menge optischer Erscheinungen sind hieraus erklärbar, vorzüglich die astronomische und irdische Strahlenbrechung nebst der sogenannten Luftspiegelung.

Nicht häufig bietet die Natur die Erscheinung verzerrter Bilder dar, welche beim Durchgange des Lichtes durch nahe liegende, verschiedenartige und ungleich brechende Medien entstehen müssen. Sehr interessant dagegen sind Wollaston's Versuche mit verschiedenen Flüssigkeiten, welche in Gefäfsen mit dünnen, ebenen und parallelen Seitenwänden vorsichtig über einander gegossen werden, und die von einem hinter ihnen liegenden Objecte ausgehenden Lichtstrahlen verschieden brechen, z. B. Schwefelsäurehydrat und Wasser vorsichtig über einander gegossen u. a. m. Dahin gehören die flitternden Bilder durch ungleich erwärmte Luft über einer Kohlenpfanne, über einem von der Sonne erhitzten dunkeln Körper, über entfernten Dächern, in den offenen Fenstern stark geheitzter Zimmer, vor den Oeffnungen der Oefen u. s. w. [1]).

---

[1]) S. Wollaston in phil. trans. 1800. p. 239—254. Gilb. Ann. XI. 1 ff. Vergl. Parrot theor. Phys. II. 146.

Liegen Schichten ungleich lichtbrechender Mittel, am
Fig. 130] besten gleichartiger von ungleicher, regelmäfsig abnehmender Dichtigkeit, α; β; γ; δ; ε.... über oder unter einander, wie dieses bei der Luft unter der Voraussetzung einer gleichmäfsigen Temperatur von der Oberfläche der Erde an gerechnet allezeit der Fall ist, welche aber zugleich auch durch starke Erwärmung des Bodens oft von unten nach oben für nicht bedeutende Höhen an Dichtigkeit merklich zunimmt, so gelangen nach beiden Seiten gekrümmte Lichtstrahlen von dem Puncte f oder von anderen über und unter demselben liegenden Puncten in das Auge o des Beobachters. Ist die Möglichkeit des Durchganges der Lichtstrahlen unterhalb f o abgeschnitten, so müssen die in f befindlichen Gegenstände höher erscheinen, als sie wirklich sind, weil das Auge sie in die Richtung der Tangente on setzt. Dieses ist unter andern die Ursache der irdischen und der astronomischen Strahlenbrechung und der hieraus folgenden Correction für irdische und cölestische Höhenmessungen. Fallen aber Lichtstrahlen vom Puncte f oder von den in seiner Nähe liegenden Puncten gleichzeitig nach unten gebrochen ins Auge, so sieht dasselbe zwei Bilder, ein gerades und ein verkehrtes. Beide können getrennt seyn, wenn vom Puncte f keine gerade Lichtstrahlen ins Auge gelangen, oder sie berühren einander. Sieht das Auge kein Bild vermöge der unterhalb fo sich bewegenden Lichtstrahlen sondern statt dessen den freien Himmel, so scheint der Gegenstand f von Wasser umgeben zu seyn. Hieraus werden die zahlreichen Erscheinungen der sogenannten Luftspiegelung erklärlich, welche in älteren Zeiten zu manchen Fabeln Veranlassung gaben, in neueren Zeiten aber durch Büsch, Gruber, Woltmann, Brandes, Mongé, Biot, Dangos, Vince, Latham, Heim u. a. zahlreich beobachtet, und insbesondere durch Biot sehr vollständig erklärt sind [1]).

[1]) Ueber astronomische Strahlenbrechung, eine Folge des Einflusses der Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit auf den durchgehenden Lichtstrahl. S. Laplace in mec. cel. IV. 231. Vergl. Bode astron. Jahrb. 1814. 91. J. T. Mayer de refr. astr. Altorf. 1781. Kramp analyse des refractions astron. et terrestres. Strasb. 1799. 4. Ivory in Phil. Trans. 1823. II. p. 409. Plana in Recherches analyt. sur la densité des couches de l'Atmosphère et la théorie des Refractions astronom. Turin. 1823. 4. u. a. astron. Werke. Noch schwieriger ist es, wegen der unbestimmbaren Temperatur der Luftschichten die irdische Strahlenbrechung genau zu bestimmen. Vergl. Brandes über irdische Strahlenbrechung. Oldenb. 1807. T. Mayer

Aus aërostatischen Gesetzen folgt ziemlich nothwendig, dafs die Abnahme der Dichtigkeit der Luftschichten, sofern sie durch den eigenen Druck derselben bewirkt wird, nur bei den horizontal über einander gelagerten stattfindet, und selbst die durch örtliche Erwärmung ausgedehnten werden sich auf diese Weise über einander lagern, weil schmale leichtere Schichten sofort in die Höhe steigen. Inzwischen ist eine locale Erwärmung schmaler verticaler Schichten nicht unmöglich, und die hierdurch bewirkten lateralen Strahlenbrechungen gehören daher unter die Seltenheiten. Sie sind indefs in einigen Fällen beobachtet, z. B. durch Soret und Jurine [1], durch Wrede [2] und andere.

§. 117.

Wenn ein durchsichtiges brechendes Mittel von parallelen Flächen begrenzt ist, so wird der durchgehende Lichtstrahl auf beiden Seiten gleichmäfsig und entgegengesetzt afficirt, weswegen die Wirkungen einander aufheben, und der Lichtstrahl seine Richtung scheinbar nicht ändert. Wenn aber diese Flächen nicht parallel sind, so wird derselbe eine Ablenkung von der geraden Richtung erleiden, welche der Neigung dieser Flächen und der Gröfse des Einfallswinkels proportional ist.

Man kann sich dieses Mittels bedienen, um den Parallelismus der Flächen eben geschliffener Gläser zu prüfen, wenn man sie in einem spitzen Winkel gegen den Horizont neigt, und eine Fenstersprosse zur Hälfte frei, zur Hälfte durch dieselben betrachtet. Sind beide Flächen völlig parallel, so erscheint die Fenstersprosse oder eine scharf begrenzte

---

de refract. obj. terr. Gott. 1751. Tralles in Denkschr. der Berl. Soc. d. Wiss. 1804—11. p. 86 ff. Warren in Bibl. Brit. XLV. 105. Ueber die verschiedenen, zur Luftspiegelung gehörigen Erscheinungen s. Büsch tractatus duo optici argum. Hamb. 1783. 4. Tob. Gruber über die Strahlenbrechung und Abprallung von erwärmten Flächen. Dresd. 1787. 4. und Gilb Ann. a. vielen O. vorzüglich XXXIV. 132. Die mathem. Theorie dieser Erscheinungen haben unter andern J. T. Mayer in com. rec. soc. Reg. Gott. I. und in gröfster Vollständigkeit Biot in Gilb. Ann. XVI. 237 und 366 nach der Bearbeitung von Brandes gegeben. Vergl. Biot Traité III. p. 317 ff.

[1]) S. Journ. de Phys. XC. p. 217.

[2]) Gilb. Ann. XI. p. 421.

schmale Leiste gerade und ungebrochen, im entgegengesetzten Falle wird der durch die Glasscheibe gesehene Theil nach der einen oder nach der andern Seite hin ausgewichen scheinen, und zwar so viel stärker, je weiter die Glasscheibe vom Auge absteht. Es versteht sich, daſs das gebrochene Bild allezeit nach der convergirenden Seite der Flächen abweicht. Eine andere, auf der Spiegelung durch beide Flächen beruhende Prüfungsmethode giebt Fischer [1]) an. Man darf nämlich nur die von einem freien horizontalen Stifte in einer horizontal gehaltenen Glasscheibe erzeugten zwei Bilder genau betrachten, und ihren Abstand von einander messen, dann bei unverrücktem Orte des Auges die Scheibe in einer horizontalen Ebene umdrehen, und beachten, ob der Abstand beider Bilder unverändert bleibt, in welchem Falle beide Flächen parallel sind; wird aber der Abstand derselben gröſser oder kleiner, so sind die Flächen nicht parallel.

Bei der Brechung des Lichtes in prismatischen Körpern Fig. 131] kommt in Betrachtung:

1) der Winkel, welchen die Flächen mit einander machen $= \varepsilon$;
2) der Winkel, welchen der ausfallende Strahl mit dem verlängerten einfallenden macht $= x$;
3) das Brechungsverhältniſs des prismatischen Körpers $= n$, das der Luft $= 1$ gesetzt.

Fället man auf die Seiten AB und CB des Prisma in die Puncte des einfallenden und ausfallenden Lichtstrahles die Perpendikel q′q; p′p, und verlängert die Lichtstrahlen, bis sie sich im Puncte v schneiden, so ist

$$x = lkv + klv = qkv - \beta + plv - \gamma.$$
$$= \alpha + \delta - (\beta + \gamma)$$
$$= \alpha + \delta - \varepsilon$$

Nach den über die Verhältnisse der Einfalls- und Brechungs-Sinusse §. 115. aufgestellten Gesetzen ist

$$\sin. \beta = n \sin. \alpha$$
$$\sin. \delta = \frac{1}{n} \sin. \gamma$$
$$= \frac{1}{n} \sin. (\varepsilon - \beta)$$
$$= \frac{1}{n} \sin. \varepsilon \cos. \beta - \frac{1}{n} \cos. \varepsilon \sin. \beta$$

---

[1]) S. astron. Jahrb. 1815. S. 224.

$$= \frac{1}{n} \sin. \varepsilon \sqrt{(1 - \sin.^2 \beta)} - \frac{1}{n} \cos. \varepsilon \sin. \beta$$

und für sin. β seinen oben angegebenen Werth substituirt:

$$\sin. \delta = \frac{1}{n} \sin. \varepsilon \sqrt{(1 - n^2 \sin.^2 \alpha)} - \cos. \varepsilon \sin. \alpha$$

$$= \sin. \varepsilon \sqrt{\left(\frac{1}{n^2} - \sin.^2 \alpha\right)} - \cos \varepsilon \sin. \alpha$$

wodurch also die vier Gröſsen in eine Gleichung gebracht sind, und leicht einzeln daraus entwichelt werden können.

Es ergiebt sich hieraus, daſs der Brechungswinkel $= \beta$ mit dem Einfallswinkel $= \alpha$ wächst.

Weil diese Methode, die Brechung gegebener Körper zu finden, die Messung mehrerer Winkel erfordert, und überhaupt etwas zusammengesetzter ist, so kann man einfacher verfahren, wenn man ein gleichschenkliches Prisma anwendet, und dieses in eine solche Lage bringt, daſs der durchgehende Lichtstrahl mit der oberen Fläche desselben Fig. 132] parallel durch dasselbe geht. Dann ist also kl mit AC parallel; $\alpha = \delta$; $\beta = \gamma = \frac{1}{2} \varepsilon$.

Hiernach ist also

$$klv = lkv = \alpha - \beta = \alpha - \frac{1}{2}\varepsilon = \frac{1}{2} x$$

und weil sin. β = n sin. α ist, so ist

$$n = \frac{\sin. \beta}{\sin. \alpha} = \frac{\sin. \frac{1}{2} \varepsilon}{\sin. \alpha} = \frac{\sin. \frac{1}{2} \varepsilon}{\sin. (\frac{1}{2} x + \frac{1}{2} \varepsilon)}$$

Hierbei wird der Winkel ε als bekannt vorausgesetzt, zu dessen Messung man sich des Goniometers bedienen kann. Man läſst dann den Lichtstrahl Dp auf das Prisma mit horizontaler Axe auffallen, und fängt das gebrochene Bild desselben an einer Wand in o auf, drehet dasselbe allmälig so lange um seine Axe, bis der Punct o zurückzugehen anfängt, und misset die Linien ov; pv und op, wodurch der Winkel x am genauesten gegeben ist [1]).

Soll das Brechungsvermögen tropfbarer oder expansibeler Flüssigkeiten gefunden werden, so schlieſst man diese in ein aus dünnen Glasscheiben verfertigtes Prisma ein, wobei jedoch hauptsächlich dahin zu sehen ist, daſs die Glasscheiben genau parallele Flächen haben, weil diese sonst gleichfalls eine nicht füglich zu corrigirende Brechung erzeugen. Wegen der geringen Brechungskraft der expansibelen Flüssigkeiten wird das Prisma mit seiner Axe lothrecht gestellt, und ein entferntes Object vermittelst eines

---

[1]) S. Langsdorf Photom. I. 133 ff.

mit einem Fadenkreuze versehenen Fernrohrs frei und nach dem Durchgange des Lichtstrahles durch das Prisma beobachtet, wobei lezteres zugleich mit einem Barometer versehen seyn mufs, um die Dichtigkeit der enthaltenen Gasarten hiernach und nach der Temperatur zu corrigiren. Diese Methode wandten Biot, Arago und Dülong zu ihren §. 115. erwähnten Versuchen an. Andere interessante Untersuchungen dieser Art sind von Wollaston[1]), Malus[2]) u. a. angestellt.

Da das Auge den gesehenen Gegenstand dahin setzt, wohin der von ihm aus verlängerte Lichtstrahl trifft, so mufs das Rautenglas eine scheinbare Vervielfachung eines gesehenen Objectes erzeugen. Es sey a b die eine flache
Fig. 133] Seite des Rautenglases, auf dessen anderer die Facetten α; β; γ; δ; ε.... geschliffen sind. Befindet sich dann das Object in f, so werden die auf jede Facette fallenden Lichtstrahlen in das Auge gebrochen, wobei blofs der in der Mitte durch γ gehende Lichtstrahl dasselbe an seinem wirklichen Orte zeigt, alle andere aber veranlassen das Auge, dasselbe an diejenigen Orte zu setzen, wohin die punctirten Linien führen, und es erscheint daher so viele male vervielfacht, als Facetten vorhanden sind. Erhält durch Krankheit die Hornhaut des Auges Facetten, so müssen hierdurch gleichfalls die Objecte vervielfacht erscheinen. Auf gleiche Weise werden die *dioptrischen Anamorphosen*
Fig. 134] erklärlich. Die sie erzeugenden Apparate bestehen aus einer Röhre, in welcher sich im gehörigen Abstande vom Auge das auf der einen Seite flache, auf der andern konisch oder mit Facetten geschliffene Glas a b befindet. Unter dieses werden Bilder gelegt, deren einzelne Theile α; β; γ; δ... so zerstreuet sind, dafs sie nach der Brechung der von ihnen in das Auge gelangenden Lichtstrahlen an die Orte α'; β'; γ'; δ'... gesetzt ein zusammengehöriges Ganzes bilden.

§. 118.

Sind die begrenzenden Flächen durchsichtiger Mittel krumm, so werden sie die Richtung der gebrochenen Lichtstrahlen in jedem Puncte ändern. Ist

---

[1]) Gilb. Ann. XXXI. p. 235 und 398.
[2]) S. Ebend. p. 225.

die Krümmung unregelmäſsig, so muſs auch die Brechung regellos seyn, woraus nur verzerrte Bilder entstehen können. Regelmäſsige Krümmungen dagegen bringen eine regelmäſsige Veränderung der Brechung hervor, und geben daher Bilder, welche nach bestimmten Gesetzen verändert sind. Hauptsächlich leidet dieses eine Anwendung auf die sogenannten Linsengläser, welche entweder von convexen oder von concaven Flächen begrenzt sind, und hiernach die Lichtstrahlen sammeln oder zerstreuen, weswegen sie Sammlungs- und Zerstreuungsgläser genannt werden.

Die oft vorkommenden, von unregelmäſsig gekrümmten Flächen begrenzten durchsichtigen Körper können wegen ihrer groſsen Mannigfaltigkeit und unbestimmten Form kein Gegenstand einer genauen Untersuchung seyn. Klügels Versuch, wonach von zwei parallelen Stiften das Bild des unteren in Wasser getauchten doppelt wird, wenn das obere das Wasser berührt [1]) gehört gleichfalls hierher.

Die Gesetze der Brechung des Lichtes in den sogenannten Linsengläsern lassen sich aus den eben angestellten Untersuchungen leicht anschaulich machen. Wenn man sich Fig. 135] vorstellt, daſs die beiden Prismen add'; bdd' mit ihren Rücken an einander gelegt sind, so werden die Lichtstrahlen m und m', welche unter sich parallel auffallen, hinter den Prismen sich im Puncte o schneiden. Andere mit diesen parallele würden indeſs diesen Punct nicht treffen, weil sie eine gröſsere Dicke des Glases zu durchlaufen haben, und zudem könnten in der Mitte die Strahlen nicht durchgehen, so daſs sich also auf diese Weise kein brauchbarer optischer Apparat herstellen lieſse. Nimmt man dagegen beide Prismen aus einem Stücke, verwandelt die eckigen Flächen ad'b; adb in gekrümmte, und richtet den durchsichtigen Körper so zu, daſs er selbst rund und die Krümmung seiner Flächen für jeden Schnitt durch seinen Mittelpunct gleich ist, so erhält man die convexen Linsengläser. Auf gleiche Weise Fig. 136] läſst sich zeigen, wie die concaven entstehen, bei denen die parallelen Lichtstrahlen m; m' nach der Brechung divergiren, so daſs sie rückwärts verlängert sich hinter der Linse in c schneiden.

---

[1]) S. Priestley Gesch. d. Opt. I. 392. Hälström in Gilb. Ann. III. 235.

Hieraus folgt schon von selbst, dafs die Masse der Linsengläser gleichgültig ist, vorausgesetzt, dafs sie das Licht durchläfst, und stärker bricht, als die Luft. Sind ferner die Flächen sphärisch, so können die Linsengläser als durch Kugelsegmente gebildet betrachtet werden, und zwar die convexen als zwei mit ihren ebenen Flächen aneinander gelegte gleiche oder ungleiche Kugelsegmente, die concaven als ein zwischen zwei mit ihren convexen Seiten genäherten Kugelsegmenten geformter durchsichsiger Körper. Vergleicht man ihre Wirkungen mit den §. 109. bis 112. genau erörterten der Spiegel, so ergiebt sich, dafs die convexen den Hohlspiegeln, die concaven den convexen Spiegeln correspondiren, wonach also die dort nachgewiesenen Gesetze leicht auf sie angewandt werden können.

Am meisten kommen sphärisch gekrümmte Flächen, sehr selten sphäroidische in Betrachtung. Man bestimmt aus dem Fig. 137] sin. des Einfallswinkels $\beta = \alpha + \gamma$ und dem bekannten Brechungsverhältnisse der Masse den sin. des gebrochenen Winkels $= \alpha$, wobei für kleine Winkel die Sinusse den Bögen gleichgesetzt werden.

Es giebt sechs Arten Linsen, oder Linsengläser, drei Fig. 138] convexe und drei concave. Alle sind als Segmente von Kugeln zu betrachten, deren Radien, vom Mittelpuncte der Krümmung c ausgehend, ihre Figur und Wirkungsart bestimmen Bei solchen Linsengläsern, bei denen die eine Fläche eben ist, wird der Radius der lezteren als unendlich in der Construction angenommen. Sie heifsen a = biconvex; b = planconvex; d = concavconvex oder Meniscus, bei denen der Halbmesser der concaven Fläche gröfser ist, als der convexen, so dafs die leztere stärker gekrümmt ist, und daher die Wirkung der ersteren mehr als aufhebt. Diese drei heifsen convexe. Dagegen ist e = biconcav oder concav-concav; f = planconcav und g = convex-concav, wobei der Halbmesser der convexen Fläche gröfser, die concave also stärker gekrümmt ist, folglich die Wirkung jener mehr als aufhebt, und die Linse daher als concave wirkt. Im Allgemeinen wirken die ersteren als Sammlungsgläser, die lezteren als Zerstreuungsgläser, wonach also jene mit den concaven, diese mit den convexen Spiegeln harmonirende Wirkungen hervorbringen müssen.

§. 119.

Aus der genannten Eigenschaft der Linsengläser läfst sich die Vereinigung der Lichtstrahlen durch die-

selben in den wahren oder eingebildeten Brennpunct leicht abnehmen, genauer aber durch Rechnung finden. Leztere ergiebt dann zugleich, auf welche Weise Bilder durch dieselben entstehen, oder die durch sie gesehenen Gegenstände verändert werden.

Im Allgemeinen werden bei convexen Linsen die parallel mit der Axe auffallenden Strahlen in den sogenannten Brennpunct vereinigt, woraus folgt, dafs divergirend auffallende weniger divergirend, und convergirende mehr convergirend werden müssen. Bei concaven Gläsern findet das Gegentheil statt.

Die regelmäfsige, durch Rechnung leicht und scharf zu bestimmende Brechung der Lichtstrahlen durch Linsen erleidet eine Abänderung 1) durch die Dicke der Linsen, 2) durch die gröfsere Convergenz beider Flächen bei gröfserer Entfernung von der Axe. Leztere bewirkt eine gröfsere Fig. 139] Brechung, weswegen der Strahl nn′ schon bei p die Axe schneidet. Der Raum rp heifst die Abweichung wegen der Kugelgestalt, oder wegen der Sphäricität. Sie ist genau mit derjenigen vergleichbar, welche sich bei Hohlspiegeln findet. §. 110.

Ist dagegen die Dicke der Linse als verschwindend zu be- Fig. 140] trachten, und der Winkel mrr′ klein, so dafs die Bögen den Sinussen nahe gleich sind; ist ferner das Brechungsverhältnifs von Luft in die brechende Substanz der Linse $= 1 : n$, und heifsen die Radien R und r, die Brennweite f, so ist für parallele Strahlen allgemein $f = \frac{Rrn}{(R+r)(1-n)}$ und bei Glaslinsen, also für $n = \frac{2}{3}$ ist $f = \frac{2Rr}{R+r}$ Hieraus folgt

1) für biconvexe Linsen: $R = r$; $f = r$.

2) für den Meniscus: $R = -R$; $f = \frac{2Rr}{R-r}$

3) für planconvexe Linsen: $R = \infty$; $f = 2r$.

Nennt man die Entfernung om eines leuchtenden Punctes vom Glase $= b$; die Entfernung mi bis zur Vereinigung der Strahlen $= d$, die Brennweite des Linsenglases $= f$, so läfst sich nachweisen, dafs $d = \frac{bf}{b-f}$ sey. Liegt der Fig. 141] leuchtende Punct o an irgend einem Orte vor dem

Glase, so wird der hiervon ausgehende, nahe bei der Axe einfallende Lichtstrahl o f q den durch die Mitte des Glases gehenden, und also beim Einfalle und Ausfalle aus demselben gleichmäſsig afficirten, mithin geraden Lichtstrahl o q in q schneiden, und indem dieses von allen Puncten gilt, so muſs von jedem selbstleuchtenden oder erleuchteten Objecte ein Bild hinter der Linse entstehen. Die Durchschnittslinien des Objectes und des Bildes verhalten sich nahe wie die Entfernungen von der Mitte des Glases.

Fig. 142] Es sey SOS ein unendlich entfernter Gegenstand, so ist in der so eben für die Entfernung des Bildes von dem Linsenglase = d aufgestellten Formel $b = \infty$, folglich $d = f$, d. h. das Bild liegt im Brennpuncte. Eine Anwendung hiervon zeigen die Brennlinsen. Sie geben ein Bild der Sonne, welches immer einige Gröſse haben muſs, daher in dieser Beziehung kein Brennpunct, sondern nur ein Brennraum statt finden kann §. 110. Es ist aber $SAO = fAo$ und $of = Ao$ tang. $fAo = d$ tang. fAo. Wird dann, wie bei der Kleinheit der Linse gegen die Entfernung der Sonne füglich geschehen kann, die leztere $= b = \infty$ angenommen, so ist $d = f$; leztere Gröſse, oder die Brennweite möge dann 10 Z. betragen, der scheinbare Halbmesser der Sonne $= 16' 8''$, so ist $of = 10$ Z. $\times$ tang. $16' 8'' = 0{,}04693$, und da sich die Intensitäten des Lichtes umgekehrt wie die Quadrate der Durchmesser derjenigen Flächen verhalten, welche durch einen auf die Axe des Lichtkegels senkrechten Durchschnitt gebildet werden, so ist die Intensität des auf die Linse fallenden Sonnenlichtes = 1, die im Brennraume = I genannt, $I = \frac{AM^2}{of^2}$. Wäre Am nur = 3 Zoll, $of = 0{,}05$ Zoll, so wäre dennoch $I = 3600$, wobei aber die Verschluckung des Lichtes durch das Glas und die Abweichung wegen der Kugelgestalt nicht berücksichtigt ist. Ohne beide Einschränkungen würde die Brennkraft der Linsen der Entfernung des Brennpunctes von der Mitte der Linse nahe umgekehrt proportional seyn.

Weil groſse Brennlinsen allezeit eine mehrere Fuſse betragende Brennweite haben müssen, wenn sie nicht allzu dick und in Folge der Abweichung wegen der Kugelgestalt minder wirksam seyn sollen, so schlug Tschirnhausen [1]) vor, die schon concentrirten Sonnenstrahlen durch eine zweite kleinere Linse nochmals schneller zu concentriren.

[1]) Acta Erud. Lips. 1691. p. 520.

Tschirnhausen brachte mit großer Mühe und Kosten zwei Linsen von 33 par. Z. Durchmesser bei 7 und 12 F. Brennweite zu Stande, womit in Paris interessante Versuche angestellt wurden [1]). Später liefs Trudaine [2]) eine Brennlinse von 4 F. Durchmesser aus zwei hohlen Gläsern zusammensetzen, deren hohler Raum erst mit Weingeist, nachher mit Terpentinspiritus angefüllt wurde. Ihre Wirkung war noch stärker als die der gläsernen, weil das Glas von solcher Dicke nicht hinlänglich rein dargestellt werden kann. Wie grofs übrigens die Brennkraft solcher Linsen ohne den unvermeidlichen Lichtverlust seyn würde, ergiebt schon die oben mitgetheilte Berechnung, wonach bei den dort angenommenen Gröfsen die erzeugte Hitze 36000° R. betragen würde, wenn man die Intensität der freien Sonnenstrahlen gegen dunkle Körper nur zu 10° R. annimmt.

Weil es so schwer ist, grofse Brennlinsen von hinlänglicher Klarheit zu verfertigen, so gab schon Büffon [3]) die Idee an, solche aus mehreren Zonen zusammenzusetzen (*Lentilles a échalons*), Brewster [4]) hat dieselbe weiter ausgeführt und vollständig dargelegt. Die ganze Linse, de-
Fig. 143] ren Durchschnitt durch die Axe AB darstellt, soll aus mehreren Zonen (für eine Linse von 4 F. Durchmesser aus drei) bestehen, leztere sollen aber wieder aus mehreren Stücken zusammengesetzt seyn. Die mittlere Linse DE besteht aus Flintglas, die Zone CD; EF aus 4 Stücken, die äufserste AC; FB aus 8 Sectoren, welche dicht aneinander gefügt werden. Sind einzelne Stücke nicht genau so geschliffen, dafs ihre Brennpuncte mit dem der mittleren Linse zusammenfallen, so kann man sie durch andere ersetzen, oder sie zu diesem Zwecke etwas weiter vor oder zurückrücken. Fresnel [5]) hat nach diesem, oder wahrscheinlicher nach Büffon's Vorschlage Linsen für die Leuchtthürme verfertigen lassen.

Die Entstehung der Bilder durch die Linsengläser ergiebt sich aus dem Gesagten von selbst. Im Allgemeinen müssen die convexen Linsen die Wirkung der Hohlspiegel haben, also von entfernten Objecten ein Bild hinter ihnen erzeugen, von nahen ein Bild vor ihnen (weil das Durch-

---

1) S. Mém. de Par. 1707. u. 1709.
2) Mém. de Par. 1774. p. 61.
3) Mém. du Paris 1748 p. 31.
4) Edinb. Phil. Journ. N. XV. p. 160.
5) Bulletin des sciences, pour la Soc. Phil. 1822. p. 128.

gehen der Lichtstrahlen durch die Linsengläser ihrer Reflexion vor dem Hohlspiegel correspondirt), u. z. mufs das erstere verkleinert, das leztere vergröfsert werden. Concave Linsen dagegen haben die Wirkungen der convexen Spiegel, d. h. das Bild fällt allezeit verkleinert vor dieselben. Alles dieses folgt, wie bei den Spiegeln, sehr einfach aus der Rechnung, wenn man nach der angegebenen Formel den Abstand des Bildes vom Glase $= d$, dessen Brennweite $= f$ und die Entfernung des Objectes $= b$ setzt, wonach dann $d = \frac{bf}{b-f}$ ist. Wird dann in Beziehung auf die Gröfse des erzeugten Bildes berücksichtigt, dafs die Tangente seines Halbmessers der Tangente des Halbmessers des Objectes gleich ist, und dafs für so kleine Winkel füglich statt der Tangenten die Bögen unmittelbar gesetzt werden können, so läfst sich auch die Gröfse der Bilder leicht berechnen. Ist also das Object Fig. 142] SOS nicht in (verhältnifsmäfsig) unendlicher Entfernung, so giebt die Formel den Werth für d, oder den Abstand des Bildes von der Linse, deren Brennweite dann bekannt seyn mufs. Diese wird entweder vermittelst der angegebenen Formeln aus den Halbmessern ihrer Krümmungen berechnet, oder mit grofser Genauigkeit empirisch gefunden, wenn man das Bild eines gegen ihren Durchmesser verhältnifsmäfsig unendlich entfernten Objectes auf einem hinter der Linse gehaltenen Papiere auffängt. Zur Bestimmung der Gröfse des Bildes führt folgende Betrachtung. Es ist $fo : SO = Ao : AO$ d. h. bei der Gleichheit des Winkels, welchen der Halbmesser des Bildes hinter der Linse und des Objectes vor derselben bilden (diese Winkel statt der Tangenten gesetzt), verhält sich der Halbmesser des Bildes zum Halbmesser des Objectes, wie die Abstände beider vom Mittelpuncte der Linse, die Dicke der lezteren als unbedeutend vernachlässigt. Hiernach wird $fo = \frac{SO \cdot Ao}{AO}$. Indem aber $Ao = d = \frac{bf}{b-f}$ und $AO = b$ ist, so wird, dieses substituirt, $fo = SO \frac{f}{b-f}$, das heifst die Gröfse des Bildes ist der Gröfse des Objectes im Verhältnifs der Brennweite zur Entfernung des Objectes proportional. Das Bild wird also am kleinsten, wenn es bei unendlicher Entfernung des Objectes sich im Brennpuncte der Linse befindet, und wächst, wenn das Object näher kommt, wobei es sich dann

zugleich weiter von der Linse entfernt. Ist $b = 2f$, d. h. befindet sich das Object um die doppelte Brennweite der Linse von dieser entfernt, so fällt das Bild in gleichen Abstand von derselben, oder $d = 2f$. Wird $b = f$, oder befindet sich das Object im Brennpuncte, so ist $d = \frac{f^2}{0}$, d. h. das Bild liegt in unendlicher Entfernung von der Linse, oder es ist gar kein Bild vorhanden; wofür man indeſs auch sagen kann, Object und Bild haben ihren Ort vertauscht. Rückt das Object der Linse noch näher, so muſs das Bild aus der unendlichen Entfernung in die negative übergehen, d. h. es muſs vor der Linse zum Vorschein kommen. Nach der Formel wird, wenn man z. B. $b = \frac{1}{2} f$ annimmt, $d = \frac{\frac{1}{2} f . f}{\frac{1}{2} f - f} = - f$, d. h. das Bild ist doppelt so weit von der Linse entfernt als das Object, und beide befinden sich an derselben Seite. Es ergiebt sich ferner, daſs die vor der Linse erscheinenden Bilder allezeit weiter abstehen müssen, als das Object, da lezteres näher als der Brennpunct kommen muſs, wenn ein negatives Bild erscheinen soll. Diese sämmtlichen Resultate lassen sich auch durch geometrische Construction anschaulich machen, wenn man das Fig. 144] Object SS der Linse MM so nahe rückt, daſs das Bild in ff erscheint [1]). Aus der Construction und aus der Formel folgt übereinstimmend, daſs das Bild, wenn seine Lage negativ wird, zugleich umgekehrt werden müsse. Uebrigens läſst sich die hieraus erzeugte Vergröſserung des Bildes von der Wirkung gröſserer Brenngläser bis zu der durch Loupen und mikroskopische Linsengläser treiben.

Bei concaven Linsen liegt der geometrische Brennpunct vor denselben da, wo die rückwärts verlängerten Strahlen die Axe schneiden, oder er ist negativ. Es gelten also hierfür die nämlichen Formeln als für convexe Linsen, mit dem Unterschiede, daſs man f verneint setzt. Hiernach ist also für parallele Strahlen $-f = \frac{2Rr}{R+r}$. Der Punct aber, wo

---

[1]) Da die vielen Linien eher Verwirrung erzeugen, als die Sache aufklären, so sind nur wenige von den Endpuncten aus gezogen. Auſserdem übersieht man bald, daſs der in das Auge fallende Lichtkegel die Breite, wie in der Figur, nicht haben kann, allein diese ist nur der Deutlichkeit wegen gewählt. Rückt man die ins Auge fallenden Lichtstrahlen einander näher, so ändert dieses nicht das Wesen der Sache, sondern nur den Abstand und die verhältniſsmäſsige Gröſse des Objectes und des Bildes.

der rückwärts verlängerte Strahl die Axe schneidet, oder der eingebildete Brennpunct wird auf gleiche Weise aus $d = -\frac{fb}{b+f}$ gefunden, und eben so folgt, dafs das Auge Fig. 145] das Bild des Objectes SS nach ff versetzen mufs [1]).

4) Zerstreuung des farbigen Lichtes.

§. 120.

Bei der Brechung des Lichtes durch prismatische durchsichtige Medien wird dasselbe in sieben farbige Theile zerstreuet, welche durch ungleiche Brechung entstehen, und von dem am stärksten gebrochenen violetten Lichte durch Dunkelbau, Hellblau, Grün, Hellgelb, Dunkelgelb zum Rothen übergehen. Da eine wiederholte Brechung keinen von diesen farbigen Strahlen weiter zu verändern vermag, sie sämmtlich aber vom Auge als merklich verschieden erkannt werden können, so ist es am natürlichsten, diese als einfache Farben anzusehen.

Die Erzeugung der prismatischen Farben nimmt man am leichtesten wahr, wenn man einen weifsen seidenen Faden horizontal vor einem Fenster oder gegen helles Licht ausspannt, und durch ein Prisma mit horizontaler Axe in schicklicher Entfernung betrachtet, bis sich das Ganze in die prismatischen Farben auflöset. Dafs aber die Farben verschieden gebrochen werden, sieht man am besten, wenn man auf einen schwarzen Grund einen dunkelblauen und dunkelrothen Streifen Papier neben einander klebt, ihre oberen Enden durch eine gerade Linie begrenzt, und diese durch den brechenden Winkel eines Glasprisma betrachtet. In diesem Falle bleibt ihre obere Grenze nicht in einer geraden Linie, sondern der eine Streifen scheint höher als der andere.

Newton stellte zur Begründung seiner Farbentheorie und um überhaupt die Brechung des farbigen Lichtes genauer zu erforschen, folgende Versuche an. Wenn man Licht von

[1]) Vergl. hierüber vorzüglich Langsdorf Photometrie, Erlangen 1803. Th. I. Schmidt Hand- und Lehrbuch d. Naturlehre und Biot Precis elementaire II. 126 ff. Boscovich in Com. Soc. Bonon. V. I. 169.

Fig. 146] der Sonne durch eine schmale Oeffnung o in ein dunkles Zimmer fallen läſst, so muſs dieses an der gegenüberstehenden Wand ein kreisrundes Bild der Sonne f darstellen, welches nach der §. 119 angestellten Berechnung nicht gröſser seyn kann, als einem Winkel der äuſsersten Strahlen von etwa 33 Min. zugehört. Fängt man dagegen die Lichtstrahlen mit einem Prisma auf, dessen Axe horizontal ist, so wird das Licht im Ganzen durch dieses gebrochen, u. z. der Gestalt und dem Brechungsvermögen des Prisma's gemäſs; zugleich aber wird das Sonnenbild in die Länge gezogen, und erhält die Gestalt vr. In diesem so erzeugten, verlängerten und farbigen Bilde der Sonne sind 7 Farben unterscheidbar, welche mit den am stärksten gebrochenen violetten anfangen, und durch Indigblau, Blau, Grün, Gelb und Orange zum Roth übergehen, ohne daſs man an den äuſsersten Enden eine scharfe Grenze wahrzunehmen vermag. Daſs diese sogenannte Farbenzerstreuung eine Folge ungleicher Brechung sey, oder daſs die Farben durch ungleiche Brechbarkeit des weiſsen Lichtes erzeugt werden, ist hierbei bloſse Thatsache, welche nach richtigen Schlüssen auf keine Weise in Zweifel gezogen werden kann.

Macht man die Vorrichtung so, wie sie eben beschrieben
Fig. 147] ist, nämlich daſs die bei o in das dunkle Zimmer fallenden Lichtstrahlen durch das Prisma abc in die genannten Farben zerstreuet werden, läſst aber zugleich durch eine enge Oeffnung w in einem Schirme nur eine dieser Farben fallen, und fängt diese abermals durch ein Prisma $\alpha\beta\gamma$ auf, so wird dieses auch die einzelne Farbe in Gemäſsheit seines Brechungsvermögens brechen, ohne jedoch abermals eine Farbenzerstreuung zu bewirken, und eine solche Farbe ist daher als eine einfache, homogene, zu betrachten. Werden daher zwei oder mehrere der zerlegten Farben durch eine Linse wieder vereinigt und nachher abermals durch ein Prisma gebrochen, so zeigt sich die Zerstreuung in so viele Farben, als woraus der Lichtstrahl zusammengesetzt ist, abermals; und hieraus geht wiederum die Nothwendigkeit hervor, die Farbenzerstreuung als eine Folge der ungleichen Brechbarkeit der verschiedenen farbigen Lichtstrahlen zu betrachten. Noch deutlicher folgt dieses, wenn man aus dem prismatischen Farbenbilde die ungleich gebrochenen Strahlen allmälig durch Zurückstrahlung verschwinden macht.
Fig. 148] Läſst man nämlich die von S kommenden Strahlen durch das Prisma abc so gebrochen und in die einzelnen farbigen Strahlen zerstreuet werden, daſs sie das Spectrum

rv bilden, drehet dann das Prisma so um seine Axe, dafs die Strahlen in der Richtung von S' ausgehend dasselbe treffen, so werden die violetten Strahlen zuerst verschwinden und durch Reflexion in v' zum Vorschein kommen, bis sich durch fortgesetzte Drehung alle Farben nach einander dort anreihen.

Da das Sonnenbild, welches durch eine Oeffnung in ein finsteres Zimmer fällt, nothwendig von Halbschatten umgeben, und deswegen minder scharf begrenzt seyn mufs, so fängt man dasselbe vorher durch eine convexe Linse auf, ehe es durch das Prisma fällt. Wird in die einzelnen farbigen, durch das Prisma gebildeten Strahlen ein gläserner Kegel mit seiner Spitze gehalten, so bildet dieser an der Wand einen farbigen Bogen.

Jede Oeffnung, durch welche der weifse Lichtstrahl auf das Prisma fällt, ist so grofs, dafs auf allen Fall eine unzählbare Menge weifse Lichtstrahlen §. 101. hindurchgehen, deren jeder in die prismatischen Farben zerlegt wird. Die verschiedenen Farbenbilder von diesen müssen also an ihren Grenzen über einander liegen, und man erhält also durch ein Prisma, welches der Natur der Sache nach gleichfalls nicht verschwindend schmal seyn kann, um nur einen einzigen Sonnenstrahl aufzufangen, auf die gewöhnliche Weise kein homogenes Licht. Lezteres kann nur dadurch erhalten werden, dafs man das Farbenbild vermittelst einer achromatischen Linse §. 146. auffängt, welche als solche die Eigenschaft hat, alle parallelen Strahlen in einen Punct zu vereinigen. Dieses setzt also die Anwendung eines achromatischen Fernrohrs voraus, durch welches das Farbenbild betrachtet werden mufs.

Hieraus ergiebt sich dann von selbst, warum der heitere Himmel, eine weifse Wand u. s. w. durch ein Prisma betrachtet kein Farbenbild giebt, nämlich weil die vielen über einanderliegenden, von zahllosen durchgehenden Lichtstrahlen erzeugten Farbenbilder sich einander zu weifsem Lichte ergänzen. Dagegen aber mufs sogleich ein Farbenbild zum Vorschein kommen, wenn ein schmaleres Bündel Lichtstrahlen von einem einzelnen Puncte durch das Prisma zerlegt wird, oder wenn irgend eine Grenze die oberhalb oder unterhalb derselben liegenden Lichtstrahlen abschneidet.

Weil einige prismatische Farben, z. B. Grün aus Blau und Gelb, Violett aus Roth und Blau, in gleicher Klarheit und Reinheit auch durch Vereinigung farbiger Lichtstrahlen

entstehen [1]), so haben einige Physiker die Zahl der Grundfarben verringern wollen. Tob. Mayer nimmt Roth, Gelb und Blau als solche an. Hiernach hätte aber das Violette nicht die mittlere Brechbarkeit seiner beiden Bestandtheile, wenn man nicht etwa mit Euler annehmen wollte, es sey in demselben das Roth des zweiten, wegen schwächeren Lichtes nicht sichtbaren, Farbenbildes vorhanden [2]). Nach Wünsch sind Roth, Grün und Violett Grundfarben [3]). Unter diesen Hypothesen scheint mir bloſs die von Euler aufgestellte einige Aufmerksamkeit zu verdienen, obgleich auch nach dieser nicht abzusehen ist, warum das nicht weit vom Roth liegende Gelb, welchem die gröſste Intensität des Lichtes eigen ist, dem Auge gar nicht mehr wahrnehmbar werden sollte.

§. 121.

In Folge zahlreicher Versuche mit Glasprismen nahm Newton an, daſs das weiſse Licht aus sieben farbigen Lichtstrahlen zusammengesetzt sey. Durch eben so feine als genaue Messungen bestimmte er zugleich die Gröſse und das Brechungsverhältniſs dieser einzelnen Farbenbilder mit unglaublicher Schärfe, so daſs man seine Bestimmungen noch jetzt bei den Berechnungen zum Grunde legt.

Die Frage, wie viele Farben es eigentlich gebe, ist schwieriger, als es auf den ersten Blick scheint. Wenn Newton deren 7 annimmt, so ist dieses nach der hinzugefügten Bestimmung unwiderleglich; denn es wird damit nicht behauptet, daſs 7 kenntliche, einander scharf begrenzende und in ihrer ganzen Ausdehnung genau unterscheidbare Farben im Spectrum vorhanden seyen, was kein genauer Beobachter aussprechen kann, sondern Newton setzt jede der genannten dahin, wo dieselbe in ihrer gröſsten, von jedem Auge leicht wahrzunehmenden, Eigenthümlichkeit hervor-

---

[1]) Diese allgemein angenommene Behauptung scheint mir noch keinesweges völlig ausgemacht; wenigstens getraue ich mir das mit einem Fraunhoferschen Flintglas-Prisma erzeugte Violett von dem aus Roth und Blau gemischten bestimmt zu unterscheiden.

[2]) S. Tob. Mayer comm. de affinitate colorum in opp. ined. Gött. 1775.

[3]) S. Versuche u. Beobachtungen über die Farben d. Lichts. Leipz. 1792. Vergl. Molweide in Gehlen's N. J. I. 651.

tritt, und daſs es hiernach, abgesehen von dem Ursprunge derselben, 7 unterscheidbare eigenthümliche Farben im Spectrum gebe, kann keinen Augenblick zweifelhaft seyn. Wird derjenige Theil des Spectrums, welcher eine von diesen einzelnen Farben bildet, nachdem man ihn durch eine enge Oeffnung von den übrigen getrennt hat, mit einer biconvexen Linse aufgefangen, so bildet derselbe ein rundes Bild, also ein Bild der Sonne von der ihm eigenthümlichen Farbe. Dürfte man daher annehmen, daſs die Sonne sieben getrennte, eigenthümlich farbige Lichtstrahlen von wachsender Brechbarkeit aussendete, so müſste das Spectrum aus sieben eigenthümlich gefärbten Kreisen von verschiedener Brechung bestehen, welche sich zwar zum Theil decken, aber auf keine Weise eine gerade Linie an den Seiten bilden könnten. Fragt man also, wie viele Farben im Spectrum enthalten sind, so könnte man füglich antworten: unendlich viele, wenn jede um ein Minimum sich unterscheidende als eine besondere angenommen würde, insofern zwischen keiner von zwei aneinander grenzenden unter allen sieben eine bemerkbare Grenze vorhanden ist [1]). Am wenigsten kenntlich verschieden von einander sind die beiden blauen Lichtbündel, indem das Blau vom Indigo sich blos durch geringere Tiefe zu unterscheiden scheint, und da beide im Orange ihren Gegensatz haben, so können sie immerhin als eine einzige betrachtet werden. Da es bei der Bestimmung der Zahl und des eigenthümlichen Unterschiedes der Farben sehr auf die Beschaffenheit des Auges ankommt, und erweislich nicht jedes Auge alle Farben zu erkennen und zu unterscheiden vermag, so ist eine scharfe Bestimmung hierüber schwer zu erhalten, und auf allen Fall wird für die Theorie des Lichtes durchaus nichts damit gewonnen, wenn man auch genügend beweisen könnte, daſs das Auge nur drei oder mehr Farben zu unterscheiden vermögte. Daſs übrigens Newton durch die 7 ganzen Töne der Octave zur Annahme der 7 Farben bestimmt wurde, ist nicht wohl zu bezweifeln. Er theilte nämlich die doppelte Länge des Fig. 149] prismatischen Farbenbildes CV, die gebogenen Enden nicht mitgerechnet, in 720 Theile, und fand dann, daſs Violet 80, Indigo 40, Blau 60, Grün 60, Gelb 48, Orange 27, Roth 45 solcher Theile einnehmen, wonach also der Raum der drei oberen gerade so groſs ist, als derjenige, welcher den vier unteren zugehört. Nennt man das

1) S. Baumgartner Naturlehre p. 299.

Ganze 1, so stehen die Räume von C nach V gemessen nahe in folgenden Verhältnissen: 1; $^8/_9$; $^5/_6$; $^3/_4$; $^2/_3$; $^3/_5$; $^9/_{16}$; $^1/_2$. Da dieses aber von dem eigenthümlichen Zerstreuungsvermögen der als Prisma gebrauchten Substanz abhängt, so sind keine weitere Folgerungen darauf zu bauen. Das nahe Zusammentreffen dieser Gröfsen mit den Ton-Intervallen der Octave ist also blofs zufällig, und überhaupt lassen sich durch die Farben keineswegs gleiche Eindrücke auf die Seele hervorbringen, als durch die Töne, bei denen ohnehin das Verhältnifs der sieben Intervalle keineswegs ein nothwendiges ist [1]. Ferner fand derselbe den Einfalls-Sinus = 50 angenommen, den Brechungs-Sinus der rothen Strahlen = 77, der violetten = 78. Setzt man den ersteren = 1, so ist derselbe bei

roth	1,54	bis	1,5425
orange	1,5425	—	1,544
gelb	1,544	—	1,54667
grün	1,5466	—	1,55
blau	1,55	—	1,5533
indigo	1,5533	—	1,5555
violett	1,5555	—	1,56

Diese angegebenen Verhältnisse fand Newton bei allen von ihm angewandten Glassorten sehr nahe genau übereinstimmend, und wiederholte Versuche haben gezeigt, dafs dieses allerdings richtig ist. Je öfter aber Newton seine Versuche wiederholte, und je übereinstimmender er die erhaltenen Resultate fand, um so zuversichtlicher mufste in ihm die Ueberzeugung begründet werden, dafs die Farbenzerstreuung in allen Glassorten nahe gleich, und keine Aufhebung derselben durch zwei verschiedene möglich sey, aus welchem Grunde er deswegen die Herstellung achromatischer Gläser bezweifelte. Später ist indefs die grofse Ungleichheit der Farbenzerstreuung durch die verschiedenen Körper und namentlich auch die Glassorten, leztere insbesondere durch Fraunhofer [2], Brewster [3] u. a. genügend dargethan.

Aufser den hier mitgetheilten giebt es noch verschie-

---

1) S. mém. de Par. 1737. p. 61. Heydenreich System. der Aesthetik. 224. Ein neuer Versuch, den Farbenwechsel auf gleiche Weise als den der Töne anzuwenden, ist von Huston gethan. S. Ann. of Phil. IV. 251.

2) Münch. Denksch. 1814. u. 15. Gilb. Ann. LIV. 264.

3) Schweigg. Journ. XVII. 135.

dene Erfahrungen, welche insgesammt die bisher angenommenen Gesetze der Farbenzerstreuung zu bestätigen dienen. Es giebt zwar keinen, oder mindestens nicht leicht einen Körper, welcher homogenes farbiges Licht aussendet, oder durchläfst §. 122., indefs findet man solche, bei denen das durch sie gegebene, reflectirte oder durchgelassene einfarbige Licht sehr hervorstechend, das sonstige, dieses begleitende weifse oder andersfarbige dagegen sehr schwach ist. Läfst man das von diesen ausgehende auf ein Prisma fallen, so erhält man an der diesem Lichte den Brechungsgesetzen gemäfs zugehörigen Stelle blofs ein einfarbiges Bild. Am leichtesten und besten ist es, eine etwas weite Röhre an beiden Enden durch ebene Glasscheiben zu verschliefsen, mit farbigen Flüssigkeiten zu füllen, vor das Prisma zu legen, und den Sonnenstrahl durch diese durchgehen zu lassen, ehe er auf jenes fällt. Nimmt man hierzu z. B. verdünnte Lakmustinctur, so erhält man ein tief rothes, vom Dunkel umgebenes, rundes Sonnenbild [1]. Auf gleiche Weise darf man das Spectrum nur durch ein tief gefärbtes Glas betrachten, um ein einziges rundes Sonnenbild von der Farbe des gebrauchten Glases zu sehen.

Die Stärke des Lichtes ist in den verschiedenen farbigen Strahlen sehr ungleich, im Allgemeinen am violetten Ende des Farbenbildes am schwächsten. Herschel [2] und vorzüglich Fraunhofer [3] haben diese Frage untersucht. Nach lezterem ist die Intensität des farbigen Lichtes

	das hellste = 1	das weiste = 1
Roth	0,021	0,0013
Orange	0,299	0,1599
Gelb	1,000	0,5354
Grün	0,328	0,1737
Blau	0,185	0,0990
Violett	0,035	0,0187

Man glaubte oft eigenthümliche Wirkungen über die Grenze des Farbenbildes hinaus wahrgenommen zu haben, namentlich Erwärmung jenseits der rothen und chemische Kräfte jenseits der violetten, und schrieb deswegen den Wärmestrahlen, welche die des Lichtes begleiten sollten,

---

1) Brandes in Gehler's Wörterb. IV. p. 59.

2) Unters. über die Natur d. Sonnenstrahlen übers. von Harding. Celle 1801. p. 13.

3) Schuhmacher astron. Abh. Hft II. Biblioth. univ. XXX. 467.

eine geringere Brauchbarkeit, gewissen chemisch wirkenden Strahlen eine gröſsere als diejenige der eigentlichen Lichtstrahlen zu §. 148. Die Thatsache, welche so, wie hier dargestellt, an sich unglaublich ist, wird leicht erklärlich, wenn man berücksichtigt, daſs die Lichtstärke an beiden Enden des Farbenbildes ausnehmend geringe ist, und das Auge die Grenzen desselben gar nicht wahrzunehmen vermag, so lange es durch das stärkere Licht der übrigen Farben zu sehr gereizt ist. Fraunhofer fand auch wirklich, daſs sowohl das Roth, als auch das Violett sich weit über die gewöhnlich wahrgenommenen Grenzen hinaus erstrecken, wenn man das Auge gegen den Eindruck der übrigen farbigen Strahlen schützt, und Herschel beobachtete hiermit übereinstimmend, daſs das rothe Sonnenbild, welches man bei der Betrachtung des Farbenbildes durch ein tief rothes Glas allein wahrnimmt, weiter hinausliegt, als die rothen Strahlen im Spectrum bei der Betrachtung des Ganzen noch sichtbar sind.

Eine höchst merkwürdige Entdeckung sind die Streifen, welche Fraunhofer im prismatischen Farbenbilde wahrnahm. Wenn man nämlich einen Sonnenstrahl durch eine etwa 15 Sec. breite und 36 Min. hohe Oeffnung in einem etwa 24 F. entfernten Fensterladen auf ein Prisma fallen läſst, welches vor dem Fernrohre eines Theodoliten steht, so wird das entstehende Farbenbild zu einer unglaublichen Länge ausgedehnt, und zeigt eine Menge sehr kenntliche, ganz schwarze Streifen, welche von gleicher Anzahl und verhältniſsmäſsig zur Ausdehnung des Farbenbildes in gleichmäſsigen Abständen stets an derselben Stelle zum Vorschein kommen, und eben hierdurch zur scharfen Bestimmung der Brechung der einzelnen farbigen Strahlen sehr geeignet sind. Wird statt eines Sonnenstrahles das Licht von andern leuchtenden Körpern durch ein Prisma farbig zerstreuet, so tritt diejenige Farbe hierin deutlicher und stärker hervor, welche jenem Lichte vorzüglich eigen ist, und deswegen sind dann auch in dieser jene Streifen auffallender und stärker; übrigens aber läſst sich jede Art Licht, auch das elektrische, farbig zerstreuen, rücksichtlich der Streifen aber zeigen sich gleichfalls Unterschiede. Unter andern werden dieselben im Farbenbilde des Kerzenlichtes hell, z. B. der Streifen zwischen Roth und Gelb; in dem des Sirius und Castor sind hauptsächlich drei breite Streifen kenntlich, Pollux und Beteigeuze geben viele, aber schwache Streifen u. s. w. Dagegen sind die Streifen des nämlichen Lichtes

in jedem Farbenbilde einander gleich, durch welches brechende Mittel dasselbe auch erzeugt seyn mag.

Wenn man je zwei Farben von den prismatischen, deren 6 vorhanden sind, Blau und Indigo für eine gerechnet, welche gleichen Abstand im Farbenbilde von einander haben, also Violett und Gelb, Blau und Orange, Grün und Roth mit einander vereinigt, so geht zwar kein vollkommenes, aber dem Auge so erscheinendes Weifs hervor, und man kann also sagen, dafs diese drei Farben einander zu Weifs ergänzen, ohne dafs jedoch die eine Reihe von diesen als eigentliche Grundfarben, und die sie zu Weifs ergänzenden als blofse complementäre zu betrachten sind, indem sie vielmehr alle so gut das eine als das andere seyn können. Wird zu solchen zwei farbigen Lichtstrahlen noch einer oder zwei, welche sich nicht zu Weifs ergänzen, hinzugethan, so geht irgend eine Farbe hervor, welche sich zu der zugesetzten hinneigt. Auf diesen Sätzen beruhen die verschiedenen Hypothesen, nach denen die Zahl der Farben kleiner ist, welche übrigens den angegebenen Brechungsgesetzen widerstreiten, und einer eigentlichen Beweiskraft ermangeln, indem wegen des allzeit ungenügenden Urtheils des Auges im Gegensatze eigentlicher Messungen noch immer nicht ausgemacht ist, ob die durch Zusammensetzung gebildeten Farben mit den homogenen identisch sind.

§. 121.

Die verschiedenen Körper haben die Fähigkeit, das durchgehende Licht sowohl als das reflectirte auf eine eigenthümliche Weise so zu modificiren, dafs es eine einfache oder eine gemischte Farbe zeigt. Vorzüglich ist dieses der Fall bei den Pigmenten, deren Farbe aber nie ganz rein ist. Selten strahlt ein Körper anders gefärbtes Licht zurück, als er durchläfst. Gehen die Farben bei verschiedener Richtung gegen das auffallende Licht schnell in einander über, so entsteht das Schillern. Alle Farben vereinigt geben weifses Licht, die Abwesenheit aller Farbe ist schwarz.

Man nimmt an, dafs die Körper alle andere Farben binden, und nur die ihnen eigenthümliche durchlassen und zurückstrahlen. Selten oder nie geschieht dieses vollständig,

daher zerlegt das Prisma die durch farbige Gläser gehenden Lichtstrahlen in das Farbenspectrum, mit der vorherrschenden Farbe des Glases; auch behalten die durch gefärbte Substanzen gesehenen Gegenstände ihre Farbe [1]. Je tiefer der Lichtstrahl in den gefärbten Gegenstand eindringt, oder je länger der Weg ist, den er in ihm zurücklegt, desto mehr wird er die Farbe desselben annehmen. Daher erscheinen die dünnen Scheiben weifsen Glases am Rande grün, weil die schwache Färbung des Glases erst merkbar wird, wenn die durchgehenden Lichtstrahlen einen längeren Weg in der dickeren Masse zurücklegen Die meisten durchsichtigen Körper erhalten ihre Färbung nicht durch reflectirtes Licht, sondern von durchgehendem, und dieses mufs weifses Licht seyn, wenn die eigenthümliche Färbung zum Vorschein kommen soll. Legt man z. B. hinter ein blaues Glas ein rothes Papier, so sieht man Violett. Alle Färbungen erscheinen dunkler, je weniger Licht vorhanden ist, die Farben aber bleiben hauptsächlich kenntlich durch ihren Gegensatz, wenn sie nebeneinander sind, sonst gehen insbesondere die hellen Farben sämmtlich scheinbar in Weifs über. Wenn man daher irgend einen gefärbten Körper von gröfserer Ausdehnung durch ein langes, inwendig geschwärztes, Rohr mit einem Auge betrachtet, und das andere während der Zeit schliefst, so erscheint er allmälig weifser, selbst ein schwarzer erscheint so, und ein gelber nimmt den Schein eines hell glänzenden Weifs an. Blofs bei roth gefärbten Körpern bleibt für mein Auge am längsten der eigenthümliche Farbenschein. Es ist indefs nicht unwahrscheinlich dafs in lezterer Hinsicht die Individualität des Auges einigen Einflufs hat. Hält man hinter ein gefärbtes Glas ein Stück Papier oder ein weifs gefärbtes Brett mit schwarzen Streifen von zunehmender Tiefe bis zum tiefsten Schwarz, so erscheint das (selbst nicht sehr dunkel) gefärbte Glas auf der weifsen Fläche in seiner eigenthümlichen Farbe, über den Streifen wird diese indefs zunehmend dunkler, und verliert sich über den tiefsten selbst in eigentliches Schwarz.

Wenn gleich die Farben durchsichtiger Körper, welche sie bei auffallendem Lichte zeigen, hiernach im Allgemeinen von durchgelassenem Lichte herrühren, so läfst sich bei vielen durchsichtigen und hauptsächlich bei durchscheinenden doch eine eigentliche Zerlegung des weifsen Lichtes nachweisen, vorzüglich bei solchen, welche ein anderes

[1]) Parrot theor. Phys. II. 180.

farbiges Licht durchlassen, als sie zurückwerfen, z. B. die *tinctura ligni nephritici*, welche nach Newton's Beobachtung blaues Licht reflectirt und gelbrothes durchläfst; die schwache Lakmustinctur, welche blaues Licht zurückstrahlt, rothes durchfallen läfst. Das Beinglas wirft meistens mit etwas Blau gemischtes Licht zurück, und läfst die gelbrothen Strahlen durch. Eine dünne Schicht aufgelösetes Saftgrün erscheint grün, eine dicke blutroth, welches Herschel [1]) daraus erklärt, dafs beide Farben bei zunehmender Dicke der Körper ungleich absorbirt werden. Hiernach müssen verschiedenfarbige vereinte Flüssigkeiten, welche nicht chemisch aufeinander wirken, mancherlei Wechsel von Farben hervorbringen [2]). Werden zwei solche vereint, welche alle Farben, aufser einer einzigen, aufheben, so mufs alle Farbe aufgehoben werden. Auf diese Weise machte Hooke alles Licht verschwinden, indem er zwei Prismen, das eine mit blauer, das andere mit rother Flüssigkeit vereinigte, und hierauf beruhet auch die Wirkung der Sonnengläser. Legt man zwei mit Rufs geschwärzte dünne Glasscheiben aufeinander, so lassen diese nur die stärksten rothen Strahlen durch; vereinigt man aber schwach gefärbte Gläser, ein blaues, ein grünes nnd ein rothes, so dringt blofs weniges gelbes oder schwach weifses Licht durch.

Dafs die Farben der Körper von dem auffallenden Lichte abhängen läfst sich zeigen, wenn man völlig homogenes Licht auf sie fallen läfst, in welchem Falle ihre eigenthümliche Farbe gänzlich verschwindet, wenn sie jener nicht gleich ist. Ein leichtes Mittel, solches homogenes gelbes Licht hervorzubringen gewährt eine Weingeistlampe, worin ein mit Kochsalz stark eingeriebener Docht brennt (Brewster's [3]) monochromatische Lampe). Die Farben der Körper werden indefs sehr modificirt durch das zugleich durchgelassene insbesondere aber das reflectirte weifse Licht. Nach den interessanten Versuchen von Prevost [4]) giebt es kein weifses Metall, vielmehr ist das Silber gelblich, das Zinn bläulich, das Gold purpurroth, das Kupfer tief braun, wie man wahrnimmt, wenn ein Lichtstrahl wiederholt von die-

---

1) Trans. of the Edinb. Phil. Soc. IX. 445.

2) S. Tielebein in v. Crell chem. Ann. 1785. St. 2. Grotthufs in Gehlen's Journ. VII. 700.

3) Poggendorff Ann. II. 98. Talbot in Edinb. Journ. of Sc. N. IX. p. 77.

4) Ann. Chim. et Phys. IV. 192 und 436.

sen Metallen reflectirt wird. Die eigenthümliche rothe Farbe des Goldes hängt dann auf eine interessante Weise mit der bekannten Erfahrung zusammen, daſs sehr dünne Goldblättchen auf weiſses Glas geklebt, grünes Licht durchlassen, also gerade die Ergänzungsfarbe derjenigen, welche dasselbe (durch vieles weiſses Licht zu Gelb gesteigert) reflectirt. Bei vielen Körpern bestehen die Oberflächen aus den feinsten blättrigen Lagen, oder sie sind so feinrissig, daſs sie von verschiedenen Seiten betrachtet verschiedenes, und oft blendendes Licht zurückstrahlen, welche Erscheinung nicht selten ganz oder zum Theil unter die Beugung des Lichtes gehört. Aus diesem Grunde wird das Schillern mancher Seidenzeuge, verschiedener Federn und Schuppen, erklärlich, ferner das Opalisiren und der eigenthümliche sogenannte Perlmutterglanz. Daſs dieser in der fein wellenförmigen und rissigen Oberfläche der Perlmutter gegrüdet sey, hat Brewster[1]) dadurch nachgewiesen, daſs er das Schillern derselben, freilich in einem weit schwächeren Grade, durch Abdrücken auf schwarzem Siegellacke dem lezteren mittheilte.

So wie man die prismatischen farbigen Strahlen zu Weiſs vereinigen kann, läſst sich dieses auch mit den Farbestoffen bewerkstelligen, jedoch nur unvollkommen, denn obgleich diese die Eigenschaft in einem vorzüglichen Grade besitzen, eigenthümliches, dem homogenen oft sehr nahe kommendes, Licht zu reflectiren, und deswegen auch Farben genannt werden, so muſs man doch wohl berücksichtigen, daſs eigentliche Farben nur diejenigen sind, welche man aus dem weiſsen Lichte durch das Prisma erhält, diejenigen Farben aber, deren sich die Maler bedienen, richtiger *Farbestoffe* oder *Pigmente* genannt werden. Diese können schon an sich keine reine Farbe geben, weil sie aus groben Körpertheilen im Verhältniſs zur Feinheit des Lichtes bestehen, und daher auch unter Voraussetzung des reinsten zurückgestrahlten Lichtes zugleich von jedem undurchsichtigen Theilchen Schatten geben müssen, weswegen sie auch allezeit ein gewisses dunkles, schmutziges Ansehn haben. Die Versuche, verschiedene farbige Pulver zu mischen und daraus Weiſs zu erzeugen, geben daher nur selten genügende Resultate, leichter dagegen werden diese erhalten, wenn man Scheiben auf die erforderliche Weise mit den im prismatischen Farbenbilde vereinigten Farben bemalt, und

---

[1]) Phil. Trans. 1814. p. 397.

diese dann schnell umdrehet, damit das Auge von allen gleichzeitig einen Eindruck erhalte. Dieses giebt die sogenannten Farbenspindeln, entweder bloſse Scheiben, welche auf einer Axe ruhend vermittelst einer andern Scheibe und einer Schnur ohne Ende um ihre Axe schnell gedrehet werden, oder man giebt nach Lüdike [1]) diesen Scheiben eine verticale, zwischen zwei Stützpuncten drehbare Axe, drehet sie schnell um diese und betrachtet sie durch ein Rohr von oben herab, oder man richtet sie wie die sogenannten Kreisel ein, und drehet sie mit den Fingern. Leztere, von Fischer [2]) vorgeschlagene, Einrichtung ist die einfachste und beste. Vermittelst derselben läſst sich völlig überzeugend darthun, daſs die Vereinigung von zwei Farbeneindrücken auf gleiche Weise die Empfindung der gemischten Farben erzeugt, als dieses mit prismatischem gefärbtem Lichte geschieht, wenn gleich die entstehenden gemischten Farben, wie die sie erzeugenden einfachen selbst, minder rein und klar sind. Theilt man die Scheiben in 4 Sectoren, und färbt diese abwechselnd blau und roth, so erblickt man beim Umdrehen Violett, und ebenso aus Blau und Gelb das entstandene Grün. Ungleich weniger leicht, wegen zu vieles zurückbleibenden Schmutzes, läſst sich Weiſs erzeugen, indeſs geben jede der drei sich ergänzenden Farben, Violett und Gelb; Blau und Orange; Grün und Roth, auch geben die sogenannten Grundfarben, Gelb; Roth; Blau, und die drei gemischten, Grün; Orange; Violett [3]), und endlich geben alle sechs (oder sieben) homogene Farben ein schmutziges Weiſs, welches so viel heller wird, je reinere und klarere

---

1) Gilb. Ann. V. 272. XXXIV. 4.

2) Lehrbuch der mechan. Naturl. Berl. 1827. II. 267.

3) Der hoch. verdiente Physiker E. G. Fischer a. a. O. gründet, nebst mehreren andern, auf diese leztere Erfahrung den Beweis, daſs es nur 3 Farben, nämlich die genannten Grundfarben geben könne. Unter der falschen Voraussetzung, daſs das Auge die durch Mischung entstandenen Farben von den homogenen überall nicht unterscheiden könne und daſs es kein sonstiges Kennzeichen der homogenen Farben gebe, ist dieser Satz allerdings richtig, denn es bedarf nur der drei genannten Farben, um alle möglichen zu erzeugen. Allein auſser der Falschheit jener Voraussetzung steht auch noch ein positives Argument entgegen. Bei der beweglichen Polarisation des Lichtes §. 128. gehört nämlich dem Roth allezeit das Grün als Ergänzungsfarbe zu, welche dann doch unmöglich aus Gelb und Blau entstehen kann, da sie einer einfachen Farbe gegenübersteht. Eben so, jedoch weniger auffallend, ist es der Fall mit Gelb und Violett; Blau und Orange.

Pigmente und in je richtigerem Verhältnisse man sie aufgetragen hat. Das leztere wird aus der im vorigen §. angegebenen Ausdehnung der farbigen Lichtstrahlen im Spectrum entnommen. Nach Newton gehören nämlich von einem ganzen Kreise

60,75	genauer	60°	45′	34″	dem Roth
34,34	—	34	10	38	dem Orange
54,67	—	54	41	1	dem Gelb
60,75	—	60	45	43	dem Grün
54,67	—	54	41	1	dem Blau
34,34	—	34	10	38	dem Indigblau
60,75	—	60	45	34	dem Violett

und hiernach müssen daher die Farben aufgetragen werden, ohne dafs man jedoch auch bei der sorgfältigsten Zubereitung ein eigentliches Weifs erwarten darf. Tob. Mayer [1]) schlug vor, die drei genannten Grundfarben auf ein Dreieck so aufzutragen, dafs aus ihrer Verbindung die sämmtlichen prismatischen in dem gehörigen Verhältnisse hervorgingen, Lambert [2]) schlug statt dessen eine Pyramide vor; jenes giebt das bekannte *Farbendreieck*, dieses die *Farbenpyramide* [3]).

Die Emanationstheorie erklärt die Farbenzerstreuung zunächst sehr einfach. Nach ihr besteht das weifse Licht aus den vereinigten farbigen Lichtstrahlen, welche durch die brechenden Körper geschieden werden, weil leztere die violetten stärker anziehen als die übrigen. Im Verhältnifs der stärkeren Anziehung müssen dann die Räume, welche sie in gleichen Zeiten in den brechenden Körpern zurücklegen, gleichfalls gröfser seyn, und die Ursache des stärkeren Angezogenwerdens liegt in ihrer Verwandtschaft zu den farbenzerstreuenden Medien. Dafs die Farbenzerstreuung und Brechung bei den verschiedenen Körpern nicht gleich ist, kann als kein bedeutender Einwurf angesehen werden, da sich dieses leicht auf die eigenthümliche Beschaffenheit der Körper zurückführen läfst, obgleich Beides eine Folge der Anziehung ist; eine Unterstützung der Hypothese liegt aber darin, dafs die am stärksten gebrochenen, also die

---

1) Opp. ined. Cura Lichtenb. De affinitate colorum.

2) Beschreibung einer mit d. Calauschen Wachse ausgemalten Farbenpyramide. Berl. 1772.

3) Vergl. Biot Traité. III. 416. Anderweitige vielfache Farbenerscheinungen kommen in der Folge zur Untersuchung; hier ist blofs von der prismatischen Farbenzerstreuung und der damit verbundenen natürlichen Färbung der Körper die Rede.

meiste Verwandtschaft zu der wägbaren Materie zeigenden Strahlen zugleich die stärksten chemischen Wirkungen äufsern. Der Emanation des Lichtes steht kein ähnliches Phänomen in der Natur zur Seite, und es läfst sich daher kein Einwurf daraus hernehmen, dafs ein solches Zusammenseyn und stetes Zusammenbleiben verschiedenfarbiger Lichtstrahlen, welche durch die brechenden Körper so leicht getrennt werden, ohne sich ihres nahen Zusammensey's beim Austritte aus jenen ungeachtet wieder zu vereinigen, nicht eben leicht vorstellbar ist. Die durch Fraunhofer entdeckten Linien im Spectrum nöthigen die Anhänger dieser Theorie eine nicht stetige sondern sprungsweise erfolgende Zerstreuung anzunehmen, und die Färbung der Körper läfst sich zunächst auf die durch ihre individuelle Beschaffenheit bewirkte Zurückwerfung gewisser farbiger Strahlen und Durchlassung anderer zurückführen, deren weiterer Grund dann durch eine allerdings etwas kühnere Hypothese aus gewissen Eigenthümlichkeiten (Anwandlungen, Accesse §. 133.) der homogenen Lichtstrahlen abgeleitet wird. Warum endlich die homogenen Lichtstrahlen die Empfindung der rothen, grünen, blauen u. s. w. Farbe, eine geeignete Vereinigung von diesen dagegen die Empfindung des weifsen Lichtes hervorrufe, dieses ist aus keiner Hypothese genügend erklärbar, weil uns überhaupt die Thätigkeit der Nerven und deren Ursache nicht bekannt ist. Din Emanationstheorie, welche die chemischen und erwärmenden Wirkungen der einzelnen Lichtstrahlen blofs auf ihre Individualität zurückzuführen hat, kann demnächst jene Erzeugung eigenthümlicher Farbenempfindungen wieder aus diesen ableiten, insofern die stärkste chemische Kraft die Empfindung von Violett, die stärkste Erwärmung dagegen die von Roth erzeugen müfste, und die zwischenliegenden Farben durch die stufenweise Ausgleichung beider erklärbar würden. Diese Hypothese hat zwar allerdings wohl Manches gegen sich, läfst sich indefs auf der andern Seite auch durch nicht wenige Argumente unterstützen.

L. Euler [1]) nahm an, die Brechung des Lichtes sey da am stärksten, wo die Wellen desselben am langsamsten auf einander folgten, und also die gröfsten Zwischenräume zwischen sich hätten. Die im Lichtäther durchsichtiger Körper oder eigentlicher in ihrer an sich elastischen Masse fortgehenden Wellen des weifsen Lichtes würden dann

---

1) Opuscula T. I. p. 169.

durch die individuelle Beschaffenheit der nicht überall gleichartigen Körper entweder insgesammt verzögert oder beschleunigt, wonach diese gleichartiges Licht durchließen und zurückstrahlten, oder sie bewegten sich mit stufenweise steigender Geschwindigkeit, und müfsten dann die Empfindung des farbigen Lichtes in der Art erzeugen, dafs die violetten Strahlen den langsamsten Wellen, die rothen den schnellsten zugehörten. Nicht leicht kann es einen Körper geben, welcher in seinen Elementen und der Anordnung von diesen für die äufserst kleinen Lichtwellen so gleichartig wäre, dafs er in durchaus homogene Schwingungen versetzt werden könnte, und daher läfst selten einer homogenes Licht durch oder strahlet solches zurück, vielmehr werden leicht einige Theile desselben die Undulationen des ankommenden Lichtes, andere dagegen ungleich sowohl verzögerte als beschleunigte fortpflanzen, und daher neben weifsem Lichte noch verschiedenfarbiges durchlassen oder zurückwerfen, solche Wellen aber, welche keine ähnliche in Körpern zu erzeugen vermögen, werden gänzlich zerstört. Heben endlich die Schwingungen des Körpers die des auf ihn fallenden Lichtäthers (durch Interferenz) gänzlich auf, so erscheint derselbe schwarz. Die schwarzen Streifen im prismatischen Farbenbilde sind solche Aufhebungen der verschiedenen Undulationen, welche Fraunhofer [2]) sehr sinnreich zur Berechnung der Längen der Lichtwellen benutzt hat [3]).

5) Diffraction, Inflexion oder Beugung des Lichtes.

§. 123.

Wenn ein feiner Strahl des weifsen Lichtes durch einen engen Raum zwischen zwei scharfen Blechen durchgehend in einem dunkeln Zimmer aufgefangen wird, so entsteht an einer gegenüberliegenden Wand

---

2) Schumacher astron. Abh. Ht. II.

3) Ueber den Eindruck der Farben auf das Auge und die Empfindung, überhaupt über das Aesthetische der Farben und des Lichtes handelt sehr vollständig v. Göthe: zur Farbenlehre, Tübingen 1810. Th. I. im Anf. Vergl. Prüfung der Farbenlehre d. H. v. Göthe u. s. w. von Mollweide. Halle 1810. 8. C. H. Pfaff über Newton's Farbentheorie, H. v. Göthe's Farbenlehre u. s. w. Leipz. 1813. 8.

ein mit der Entfernung an Breite zunehmender Lichtstreifen, welcher in der Art Farben spielt, dafs die rothen nach Aufsen, die violetten aber nach Innen liegen. Ist dagegen der durchgehende Strahl einfaches farbiges Licht, so enthält das Bild abwechselnde Streifen von Licht und Schatten.

Die Beobachtung ist zuerst von Grimaldi gemacht[1], welcher auf eine nicht ganz deutliche Weise sie von gewissen Undulationen des Lichtes ableitete. Newton hat sie wiederholt, jedoch lag dieser Gegenstand dem scharfsinnigen Forscher nicht so nahe, dafs er ihm vorzügliche Aufmerksamkeit widmen konnte, und daher sind seine Resultate nur eine Bestätigung desjenigen, was schon Grimaldi beobachtet hatte[2]. Nach ihm wurden diese Erscheinungen von vielen, namentlich von Maraldi[3], s'Gravesande[4], Brougham[5], Prevost[6], Jordan[7] u. a. wiederholt, ohne jedoch etwas Neues oder die Erklärung Förderndes hinzuzufügen. Ungleich mehr ist dieses der Fall bei den Versuchen von Flaugergues[8] und noch mehr bei denen durch Biot und Pouillet angestellten[9], wonach die hauptsächlichsten Erscheinungen folgende sind. Läfst man einen Strahl weifsen Lichtes durch eine schmale Spalte fallen, welche zwei dünne, an den genäherten Kannten eben geschliffenen Stahlplatten zwischen einander lassen, und fängt diesen in einem dunkelen Raume mit einer mattgeschliffenen Glastafel auf, so entdeckt man in der Mitte

---

1) S. Physico mathesis de lumine, coloribus et iride aliisque adnexis. Bonon. 1665. 4.

2) Newton wollte zunächst die Mechanik des Himmels begründen, welche für den beobachtenden Theil einer Verbesserung der Fernröhre bedurfte. Die Untersuchung der Reflexion und Brechung nebst der Farbenzerstreuung des Lichtes durch die verschiedenen Körper war hiermit unmittelbar verbunden, und beschäftigte ihn daher vorzüglich; die Gesetze der Beugung mufsten für ihn minderes Interesse haben.

3) Mém. de Par. 1715. p. 147.

4) Phys. Elementa cet. II. p. 725.

5) Phil. Trans. 1796. p. 227.

6) Ebend. 17 8. Gilb. Ann. V. 129.

7) Gilb. Ann. XVIII. 1.

8) Mém. sur la diffraction de la lumière, im Auszuge in Journ. de Phys. LXXV. 16. LXXVI. p. 142 und 278.

9) Biot Traité. IV. p. 767.

einen Streifen weifsen Lichtes, welcher von parallelen schattigen Streifen begrenzt wird, in welche prismatisch-farbige, mehrmals wechselnde Streifen, das Blau am meisten nach Innen, das Roth mehr nach Aufsen, hineingehen, so dafs die abwechselnd folgenden prismatischen Streifen zunehmend matter werden, und endlich ganz schwinden. Sind die Kanten der Bleche unter einem spitzen Winkel einander genähert, so entfernen die Streifen sich in der Art, Fig. 150] dafs sie eine hyperbolische Krümmung annehmen, und sind ihre Abstände der Weite des Risses umgekehrt proportional. Eine nähere Untersuchung zeigte, dafs die Fig. 151] wechselnden Streifen beim Austritte des Lichtes einander unmefsbar nahe und nicht wohl zu unterscheiden sind, in gröfserer Entfernung sich durchkreuzen, und dann erst in einem gewissen Abstande auf die angegebene Weise kenntlich hervortreten. Fiel das Licht vor seinem Durchgange durch die Spalte zuerst auf ein Glasprisma, und wurde dieses nach und nach so gedrehet, dafs nur homogenes farbiges Licht durchgelassen wurde, so wechselten re-Fig. 152] gelmäfsig dunkle und von dem farbigen Lichte erleuchtete Streifen, deren Abstände zwar beim blauen Lichte am geringsten, beim rothen am stärksten waren, jedoch stets ein gleiches Verhältnifs beibehielten. Als lezteres genauer gemessen wurde, so fanden Biot und Pouillet, Fig. 153] dafs, wenn man den Abstand von der Mitte des erzeugten Bildes bis zur Mitte des ersten dunkelen Streifes = 4 e annimmt, dann die Entfernungen der Mitte der nachfolgenden dunkelen Streifen 8 e; 12 e; 16 e ..... die bis zur Mitte der farbigen aber 6 e; 10 e; 14 e .... betragen.

Nach so mühsamen und genauen Untersuchungen konnte die Menge dar Thatsachen nicht mehr bedeutend erweitert werden, desto mehr aber bemühete man sich, dieselben zu erklären, welches hauptsächlich durch Thomas Young[1]), Fresnel[2]), Poisson[3]) und Fraunhofer[4]) geschehen ist. Lezterer hat das grofse Verdienst, die Erscheinungen der Reflexion mit einem sehr zweckmäfsigen Apparate in so ausnehmender Schönheit und wahrhaft wundervoller Pracht darzustellen, dafs sie von jener Zeit an nicht mehr so wenig allgemein beachtet blieben, als vorher geschehen war,

1) Lectures on nat. Phil. Lond. 1806. II. 613.

2) A. de Chim. et P. I. 239. XI. 266. XXII. 250. XXIII. 32. u. 113. u. a. a. O.

3) Mém. de l'Acad. vol. VIII.

4) Munchener Denkschr. VIII. Schuhmacher astron. Abh. Hft II. p. 46.

aufserdem aber ist das schon Bekannte durch einige neue Thatsachen und Gröfsenbestimmungen von ihm bedeutend vermehrt. Dieser unübertreffliche Künstler und Beobachter liefs den weifsen oder einfarbigen Lichtstrahl nicht blofs, wie bis dahin geschehen war, durch eine einzige feine Spalte fallen, sondern durch ein feines Löchelchen in einem Bleche, durch ein feines, in einer Goldbelegung auf Glase radirtes Pünctchen oder eine solche Kreislinie, durch mehrere mit unglaublicher Kunst und Feinheit in genau gleichen Abständen hergestellte Löchelchen und in Glas oder mit Gold belegten Glastäfelchen geschnittene Streifen oder Drahtgitter, besah die entstehenden Farbenbilder durch das Fernrohr eines Theodolithen, und mafs die Abstände der einzelnen Farbenstreifen. Hieraus ergab sich, dafs die Abstände der einzelnen Farbenstreifen nach ganzen Zahlen regelmäfsig wachsen, wie schon Biot und Pouillet gefunden hatten.

Die Farben, welche auf diese Weise in grofsen und schönen Farbenbildern durch die feinen Drahtgitter erzeugt werden, kann man minder vollkommen und glänzend wahrnehmen, wenn man die helle Sonne durch die Fahne einer Rabenfeder oder einer feinen Vogelfeder betrachtet, auch gehört dahin die namentlich durch Hopkinson und Nicholson angegebene Vervielfältigung der Bilder, wenn man einen entfernten leuchtenden Punct durch ein feines Tuch, am besten ein feines Florband oder überhaupt ein feines Flechtwerk betrachtet. Am schönsten sieht man diese durch Beugung entstehenden prismatischen Farben, wenn das helle Sonnenlicht durch übrigens helle Fensterscheiben mit sehr feinen, im Schatten nicht sichtbaren, Rissen fällt. Auch das reflectirte Licht zeigt die Erscheinungen der Beugung. Wenn man daher, wie Biot angiebt, auf eine polirte Kupferplatte mit einer scharfen Nadel eine feine gerade Linie einschneidet, und das Sonnenlicht darauf fallen läfst, so erzeugt die Beugung desselben an den Rändern des Einschnittes ein prismatisches Farbenspiel. Eben dieses erhält man von wunderbarer Schönheit durch Spiegelung des Lichtes von der Fläche der durch Barton erfundenen irisirenden Knöpfe, welche aus polirtem, in verschiedene Felder getheilten, Metalle bestehen. und wobei die einzelnen Felder mit höchst nahen und feinen parallelen Linien eingeschnitten sind. Das reflectirte Tagslicht zeigt die prismatischen Farben durch Beugung, das reflectirte Sonnenlicht wirft gegen eine Wand eine aus zahllosen solchen Farben bestehende Scheibe. Die Farben sind so viel schöner, je

mehr Linien genau parallel neben einander in einem gleich grofsen Raume gezogen sind. Barton vermag 10000 derselben in den Raum eines Zolles zu ziehen [1].

§. 124.

Wird ein feiner Körper in einen einfachfarbigen oder weifsen Lichtstrahl gehalten, so wirft derselbe einen breiteren Schatten an die Wand, als seiner Dicke proportional ist. Zugleich aber fallen in diesen Schatten und aufserhalb desselben abwechselnde dunkle und farbige Streifen. Diese Erscheinungen, welche schon dem äufseren Ansehen nach zu den durch Inflexion erzeugten gehören, zeigen sich auch bei gröfseren Körpern, sind dann aber weniger auffallend.

Diese Entdeckung machte gleichfalls Grimaldi, indem er ein Haar in einen feinen Sonnenstrahl hielt, und die angezeigte Abbeugung der farbigen Lichtstreifen bemerkte. Maraldi [2] erweiterte sie sehr, indem er dickere Stäbe nahm, die Gröfse ihres Schattens mafs und diese gemessene Gröfse mit der aus der Dicke der Stäbe, ihrer Entfernung von der Lichtquelle und der auffangenden Wand, nebst der Breite des einfallenden Lichtstrahls berechneten verglich. Hierbei entdeckte er zugleich die Zubeugung der Strahlen. Später sind diese Lichtstreifen genau untersucht durch Fresnel [3], welcher ihren regelmäfsigen Wechsel ganz mit dem im vorigen §. beschriebenen übereinstimmend findet. Merkwürdig ist der Umstand, dafs sie an beiden Seiten verschwinden, wenn man nur an einer Seite des schmalen Körpers einen undurchsichtigen Schirm hält, oder diesen in seinen Schatten taucht. Ist der Schirm sehr dünn, so verschwinden sie blofs an einer Seite [4]. Die Erscheinung läfst sich leicht wahrnehmen, wenn man eine kleine Kugel, eine Scheibe oder nur einen Stift gegen helles Licht gehalten betrachtet; am einfachsten zeigt sich dieselbe, wenn man eine kleine undurchsichtige Scheibe von etwa 2 Lin. Durchmesser an einem feinen Stifte, in einigen Fufs Entfernung gegen ein

---

1) Gilb. Ann. LXXIV. 380.

2) S. Mém. de l'Acad. 1723. p. 111.

3) Ann. de Chim. et Phys. I. p. 239.

4) S. Gay-Lyssac in Ann. de chim. et de phys. 1816 u. 17. Biot III a. E.

12 und mehrere Fuſs entferntes helles Kerzenlicht hält, wobei um die Scheibe ein schwach erleuchteter und ein diesen umgebender farbiger Kreis zum Vorschein kommt. Wird in ein geschwärztes Rohr ein feiner Faden ausgespannt, auf welchen das Licht durch eine feine Oeffnung oder, nach Fresnel, durch eine Linse fällt, und betrachtet man die entstehenden farbigen Streifen mit einem geeigneten Oculare, so sieht man dieselben schöner, deutlicher und vergröſsert. Von dieser Construction ist J. T. Mayer's *Inflexioskop*, welches zugleich dafür eingerichtet ist, die durch einen zwischen zwei genäherten Blechen einfallenden Lichtstrahl erzeugten Farbenstreifen zu sehen [1]).

Aus dieser Beugung des Lichtes erklären sich der Lichtsaum um den Mond bei centralen Sonnenfinsternissen, die flimmernden prismatischen Farben des hellen Sonnenlichtes, wenn es an feinen Haaren, an Spinnenfäden, oder sonstigen feinen Körpern hinstreift, die farbigen Ränder der Fenstersprossen, wenn man sie an einem scharfen Bleche herstreifend ins Auge fallen läſst, oder die durch H. v. Göthe sogenannte Polarität [2]) u. a. Erscheinungen.

Man erklärte seit Newton diese sämmtlichen Phänomene aus einer durch anziehende und abstoſsende Kräfte erzeugten Beugung des Lichtes an den Oberflächen der undurchsichtigen Körper. Thom. Young, Fresnel, Arago und Fraunhofer benutzten sie indeſs zur Unterstützung der Undulationstheorie vom Lichte. Welche von beiden Hypothesen die richtige sey, kann erst nach der Untersuchung verwandter Erscheinungen §. 131, 132 und 133. gehörig gewürdigt werden.

6) Doppelte Brechung des Lichtes.

§. 125.

Alle durchsichtige Krystalle, deren Grundform kein Cubus oder regelmäſsiges Octaeder ist, haben die Eigenschaft, die durchgehenden Lichtstrahlen in zwei Theile zu spalten, wovon der eine die gewöhnlichen Gesetze der Brechung, der andere aber ungewöhnliche

---

1) Phaenom. ab inflexione lum. pend. cet. in Comm. Soc. Gott. 1818.

2) S. dessen Beiträge zur Optik. Weim. 1792. Vergl. Gren J. d. P. VII. 3.

befolgt. Eine nähere Untersuchung zeigt bald, dafs die ungewöhnliche Brechung durch die Lage der Hauptaxe des jedesmaligen Krystalles bedingt wird, welche nach Biot entweder repulsiv oder attractiv auf die Lichttheilchen wirkt.

Ueber die Grundformen der Krystalle s. §. 71. Beim rhomboidalen Kalkspath, auch isländischer Doppelspath genannt, welcher die angegebene Eigenschaft am stärksten zeigt, geht die Hauptkrystallisationsaxe von dem einen stumpfwinklichen Eck zum andern. Die doppelte Brechung geschieht allezeit so, dafs der ungewöhnlich gebrochene Lichtstrahl in der Richtung der Haupt-Krystallisations-Axe von dem stumpfwinklichen Eck nach dem spitzwinklichen geworfen wird, wovon man sich überzeugen kann, wenn man einen schwarzen Punct auf weifsem Papiere durch einen solchen Kalkspath-Krystall betrachtet, in welchem Falle beide Bilder bei jeder Richtung einen gleichen Abstand haben. Legt man auf diesen Krystall einen andern von gleicher Dicke mit entgegengesetzter Richtung der Axen, so verschwinden die doppelten Bilder, und es entsteht ein einfaches von doppelter Intensität. Legt man den Krystall auf eine schwarze Linie so, dafs jene Hauptaxe mit derselben parallel läuft, so fallen die doppelten Bilder zusammen, entfernen sich dagegen am stärksten, wenn die Linie die Axe rechtwinklich schneidet. Man sieht dieses am deutlichsten, wenn man zwei, einen rechten Winkel bildende, Linien auf weifsem Grunde durch einen solchen Krystall betrachtet, so dafs die eine derselben mit der Krystallisationsaxe parallel läuft, und dann einen andern Krystall von gleicher Dicke auf demselben liegend um seine horizontale Ebene drehet. Es zeigt sich hierbei dann sehr deutlich, wie die einzelnen Quantitäten des Lichtes durch doppelte Brechung nach beiden Seiten sich theilen. Wenn man zwei Krystalle von gleicher Dicke über eine schwarze Linie auf weifsem Grunde, beide in gleicher Richtung ihrer Axen, legt, und den oberen um einen Winkel von 45 drehet, so werden die doppelten Bilder zum Theil vereinigt, zum Theil noch einmal so weit entfernt seyn, wodurch drei Linien, welche bei gleicher Intensität die gesammte Lichtmenge unter sich gleichmäfsig vertheilen, entstehen. Bei weiterer Drehung bis 90° werden sie dann in die mittlere vereinigt werden, und überhaupt giebt eine Umdrehung von 360° im Azimuth eine vierma-

lige Erscheinung von drei Linien, wovon abwechselnd zwei sich etwas durch gröfsere und geringere Deutlichkeit unterscheiden; aufserdem aber erhält man eine zweimalige Verdoppelung der Entfernung und eine zweimalige Vereinigung des doppelten Bildes.

Indem das zweite Bild allezeit von der Axe aus in der Richtung ihrer Lage nach dem gegenüberliegenden spitzen Eck, welches mit dem stumpfwinklichen einen gleichen Winkel hat, gebrochen wird, so liegt dasselbe, wenn die Ebene durch die Hauptkrystallisationsaxe und die ihr gegenüberliegenden spitzen Ecks auf einer beobachteten Linie lothrecht ist, scheinbar unter dem unverrückten Hauptbilde, wenn die Richtung der Axe von oben nach unten geht; im entgegengesetzten Falle aber über demselben. Befindet sich der Krystall ferner in der angezeigten Lage, so bleibt das Hauptbild bei allen azimuthalen Umdrehungen des Krystalles unverrückt, das Nebenbild aber weicht rechts oder links ab, jenachdem die angegebene Richtung der Axe dasselbe nach der einen oder anderen Seite hinwirft. Bei jeder andern Lage des Krystalles bewegen sich beide Bilder beim Umdrehen desselben im Azimuth bald rechts, bald links. Man kann diese und andere interessante, zur Erklärung der Phänomene gewifs nicht unwesentlichen Versuche bequem anstellen, wenn man eine auf weifsem Papiere gezogene horizontale Linie durch einen lothrecht aufgehangenen Faden gedeckt und zugleich durch einen aufgelegten Krystall gebrochen werden läfst.

Auf welche Weise die doppelte Brechung stattfindet, läfst sich im Allgemeinen leicht zeigen. Ist ABCD ein Fig. 154] Hauptschnitt eines Isländischen Krystalles, E ein sichtbarer Punct, so wird der gewöhnlich gebrochene Lichtstrahl in der Richtung EFGO ins Auge gelangen, allein dieses kann bei dem ungewöhnlich gebrochenen EFnu nicht der Fall seyn. Der Lichtstrahl aber, welcher von E auf l fällt, und ungewöhnlich gebrochen wird, gelangt durch i gleichfalls zum Auge in O, und der Gegenstand erscheint also doppelt, nämlich in den Richtungen OG und Oi. Schiebt man diesemnach einen undurchsichtigen Gegenstand von B her unter den Krystall, so mufs das nächste Bild in i zuerst verschwinden, welches mit der Erfahrung übereinstimmt.

Rochon benutzte die doppelte Brechung des Kalkspathes zur Construction seines Mikrometer's. Ist nämlich Fig. 155] ABA' ein solches Prisma, bei welchem die Haupt-

krystallisationsaxe mit BA′ parallel läuft, und in welchem daher der Lichtstrahl nicht ungewöhnlich gebrochen wird, AB′A′ dagegen ein solches, bei welchem AB′ auf jenem lothrecht steht, so wird der gewöhnlich gebrochene Lichtstrahl EGO gerade ins Auge gelangen, der ungewöhnlich gebrochene aber nach o; ein dem lezteren nahe paralleler setzt den gesehenen Gegenstand von O durch g nach e. Bringt man ein solches Prisma in ein Fernrohr so, dafs es Fig. 156] in der Axe desselben verschiebbar ist, so wird der gerade Strahl AO unverändert ins Auge gelangen, für einen jeden nicht grofsen Gegenstand läfst sich aber eine solche Entfernung des Prisma vom Objectivglase A denken, dafs beide Bilder einander berühren. Ist für eine bestimmte Entfernung des Prisma's vom Auge und Brennweite des Fernrohr's der Winkel bei O ausgemittelt, welcher die scheinbare Gröfse des gesehenen Objectes angiebt, so läfst sich mit der Veränderung dieser Gröfsen der scheinbare Durchmesser kleiner Körper finden [1].

Aufser dem Doppelspathe giebt es noch eine nicht unbedeutende Zahl anderer Krystalle, bei denen sich die doppelte Brechung auf gleiche Weise, nur minder stark, zeigt, und nach Brewster [2]) ist sie beim chromsauren Blei dreimal so grofs, als beim Doppelspath, auch geht aus Herschel's [3]) Versuchen hervor, dafs sie in den verschiedenen Krystallen nach der Farbe des Lichtes verschieden ist. Man bemerkt die Erscheinung bei Krystallen von schwächerer Brechung am leichtesten, wenn man eine feine Nadelspitze dadurch betrachtet, und diese doppelt erscheint. Einige Krystalle haben nur eine Axe der doppelten Brechung, andere dagegen zwei von gröfserer oder kleinerer Neigung gegen einander; unter andern hat der Glimmer zwei Axen, die eine in der Ebene der Blätter, die andere auf dieser lothrecht. Biot, welcher die Erscheinung von einer anziehenden oder abstofsenden Kraft dieser Axen ableitet, erkannte den merkwürdigen Gegensatz, dafs selbst bei einigen Krystallen mit einer Axe der ungewöhnlich gebrochene Strahl abgestofsen, bei andern angezogen wird, wie folgende Uebersicht zeigt.

---

1) Biot Traité. III. 398. Gilb. Ann. XL. 141. Vergl. Dollond. in Phil. Trans. 1813. I. p. 102.

2) Phil. Trans. 1813. p. 166.

3) Transact. of the Cambridge Phil. Soc. V. I. N. II. u. XV.

Substanzen	Verhältniſs des gebrochenen Winkels zum Einfallswinkel = 1. ordentl.	aufserord.	Wirksamkeit der Axe	Richtung der Axe.
Doppelspath	0,604487	0,674172	repulsiv	durch beide stumpfwinkliche Ecks.
Arragonit	0,590620	0,651550	repulsiv	mit der Richtung d. Spitze parallel.
Quarz	0,645813	0,641776	attractiv	desgleichen.
Schwerspath	0,611530	0,607223	desgl.	in der kleinen Diagonale v. der Fläche d. Prisma.
Apatit	......	......	repulsiv	
Beryll	......	......	repulsiv	parallel mit den Seiten d. Prisma.
Turmalin	......	......	repulsiv	mit der Richtung d. Spitze parallel.
Topas	......	......	attractiv	desgleichen.
Gyps	0,645813	0,641776	attractiv	in der Fläche der Blätter.

Dringt ein Lichtstrahl bis zur hinteren Fläche des Doppelspathes, so wird auch dieser doppelt reflectirt, wie man wahrnimmt, wenn man das Bild einer Nadel bei vielem Lichte auf ein wenigstens 0,5 Zoll dickes Stück fallen läſst, oder einen hellen Krystall mit seinem stumpfwinklichen Eck auf zwei in einem rechten Winkel sich berührende schwarze Linien auf weiſsem Grunde, die Hauptaxe mit einer derselben parallel laufend, legt, und auf andere Weise. Daſs übrigens die Lichtstrahlen durch die doppelte Brechung auf eine eigenthümliche Weise afficirt werden, sieht man daraus, daſs die einmal verdoppelten Bilder durch einen zweiten Krystall nicht vierfach werden. Nach Fresnel [1]) zeigen beide Strahlen bei der doppelten Brechung eine Abweichung von den gewöhnlichen Brechungsgesetzen, jedoch ist diese bei den ungewöhnlich gebrochenen ungleich gröſser.

[1]) Ann. Chim. et Phys. T. 22.

Eben dieser entdeckte auch, daſs durchsichtige Körper, z. B. Glasstücke, doppelte Brechung erhalten, wenn man sie in einer Richtung zusammenpreſst, auch fand er diese nämliche Erscheinung, als er mehrere Glasprismen so an einander legte, daſs ihre scharfen Kannten sämmtlich nach einer Seite gekehrt waren und sich zwischen eine gleiche Reihe schieben lieſsen, um ein Parallelopipedon zu bilden, wenn die eine Reihe comprimirt wurde, die andere aber nicht. Weil durch diese partielle Zusammendrückung des Glases die symmetrische Anordnung der Theile desselben aufgehoben wurde, so führt dieses zu der Schluſsfolge, daſs in allen Krystallen von doppelter Brechung eine symmetrische Anordnung der Theile nur in der Richtung ihrer Hauptkrystallisationsaxe stattfindet.

Die Anhänger der Emanationshypothese haben es noch nicht versucht, die Erscheinungen der doppelten Brechung im Einzelnen aus ihrer Theorie abzuleiten, so genau auch die Erscheinungen selbst durch sie untersucht sind, vielmehr bleiben sie mehr im Allgemeinen bei dem Thatsächlichen stehen, daſs nämlich die Axen der krystallisirten Körper auf die Lichttheilchen anziehend oder abstoſsend, jedoch nur in kleine Entfernungen wirken. Hierdurch wird aber auf keine Weise erwiesen, warum diese abstoſsende oder anziehende Kraft bloſs einen Theil des Lichtes und nicht das Ganze afficirt, und es läſst sich nicht wohl absehen, wie hierfür eine genügende Ursache aufzufinden seyn mögte. Huygens dagegen erklärte die Phänomene aus der Undulation der Lichtwellen, indem er annahm, daſs diejenigen Wellen, welche im Lichtäther des Körpers fortgepflanzt würden, die ihnen eigenthümliche sphärische Gestalt beibehielten, und also die gewöhnliche Brechung erzeugten, daſs aber zugleich die Elemente der Körper in Undulationen versetzt würden, und leztere dem Lichtäther wieder mittheilten, welche Wellen dann sphäroidisch seyn müſsten, wie aus der nicht symmetrischen Anordnung dieser Theile auch wohl mit vielem Grunde gefolgert werden muſs, woraus dann die ungewöhnliche Brechung eben so leicht als genügend erklärt werden kann. Nach Poisson's späteren Untersuchungen sind zwar die Wellen einer Flüssigkeit, namentlich eines in einem Körper eingeschlossenen Aethers, gleichfalls sphäroidisch, allein auf allen Fall sind die durch die unsymmetrisch angeordneten Elemente der Körper modificirten anders, als die durch symmetrisch gelagerte, ja nach näherer Bestimmung ist die ellipsoidische Form dersel-

ben die allgemeinste, welche sie in Körpern annehmen, deren Dichtigkeit sich von einem Puncte zum andern nach irgend einem Gesetze ändert §. 47. Diese Hypothese läſst sich zur Erklärung aller Einzelheiten dieser merkwürdigen Phänomene mit Consequenz benutzen [1]).

7) Polarisirung des Lichtes.

§. 126.

Wenn das Licht auf spiegelnde Flächen unter einem Winkel von 54° 35′ fällt, so erleidet es eine eigenthümliche Veränderung seiner Stärke und seiner Farbe, welche von Malus, dem Entdecker dieser Erscheinung, *Polarisation* genannt ist. Die Beobachtungen des Erfinders erstreckten sich anfänglich bloſs auf das Verschwinden eines von zwei unbelegten Glasplatten in dem angegebenen Winkel reflectirten Lichtstrahles, wenn die Ebene des zweiten die des ersten unter einem Winkel von 90° oder 270° schneidet.

Die angegebene Wirkung ist allgemein, s. § 130., obgleich unbelegte, auf ihrer Rückseite geschwärzte, Spiegelplatten sie am besten und am leichtesten zeigen, weswegen es vorläufig am besten ist, sich hierauf allein zu beschränken [2]).

---

[1]) Verschiedene Erscheinungen der doppelten Brechung hängen mit der Polarisation des Lichtes innig zusammen, und werden dort erwähnt. Tiefer in diese weitläuftigen Untersuchungen einzugehen, scheint mir nicht zweckmäſsig. Ueber die Phänomene selbst, von welchen Erasmus Bartholinus in: Experimenta crystalli Islandici, quibus mira et insolita refractio detegitur. 1669. zuerst handelt, und die Theorieen zu ihrer Erklärung. S. Hugenii opp. rel. T. I. tract. de lumine cap. 5. Wollaston in Phil. Trans. 1802. p. 381. Theorie de la double Refraction de la lumiére cet. par E. L. Malus Par. 1806. 4. Hauy in Gren'n J. II. 403. Mineral. d. Ueb. I. 303. La Place in Mém. de la Soc. d'Arcueil vol. II. Vergl. Gilb. Ann. XXXII. 446. Mém. de la Soc. des scienc. argicult. et arts de Straſsburg. Partie des sciences. I. 1811 mém. I. par Kramp. Bernhardi über doppelte Strahlenbrechung in Gehlen n. J. IV. 230. Biot a. a. O. und vorzüglich in Mém. de l'Acad. 1818. T. III. p. 177.

[2]) Die gesammten Phänomene der höchst interessanten Lichtpolarisation sind sehr vollständig zusammengstellt durch Biot in Traité de Physique. T. IV. Hiermit ist zugleich eine Theorie ganz im Geiste der Emanationshypothese verbunden, welche auf die Darstellung an sich

Man hat mehrere Maschinen erdacht, um die verschiedenen Versuche bequem anzustellen. Einige lassen das Licht von oben nach unten, andere von unten nach oben in das Auge fallen, welches blofs hinsichtlich der Bequemlichkeit des Beobachtens verschieden ist [1]). Die Hauptsache bei der Construction der Maschinen beruhet darauf dafs die
Fig 151] beiden Spiegel, oder vielmehr die auf der hinteren Fläche geschwärzten Scheiben klaren Spiegelglases a; b; einander parallel gestellt werden können. Verlangt man mehr als dieses, so ist es gut, den Winkel, in welchem sie gegen den einfallenden Lichtstrahl geneigt sind, messen zu können. Aufserdem ist es nothwendig, dafs der obere oder untere Spiegel um die verticale Axe der Maschine, oder vielmehr um den zwischen beiden reflectirten Lichtstrahl gedrehet werden könne, und auch hierbei ist es vortheilhaft eine Vorrichtung anzubringen, um den Winkel zu messen, welchen beide Spiegel mit einander machen. Ferner mufs zwischen beiden Spiegeln ein Rahmen angebracht seyn, auf dessen Ebene der reflectirte Lichtstrahl lothrecht ist, und in welchen diejenigen Körper gelegt werden können, durch welche der polarisirte Lichtstrahl dringen soll. Endlich ist es vortheilhaft, vor der unteren Glasscheibe einen gemeinen Spiegel so anzubringen, dafs er das von den Wolken oder einer Kerze auf ihn fallende Licht gegen die Glasscheibe reflectirt, in welchem Falle lextere, wenn sie im geeigneten Winkel gegen den Horizont geneigt ist, den reflectirten Strahl gegen die obere parallele Glasscheibe

---

einen Einflufs äufsern mufste, und obgleich diese durch einige neuere Untersuchungen sehr schwankend gemacht ist, so bleibt doch jene Darstellung immer ein sehr vollendetes Ganzes, woraus ich hier nur das Wesentlichste mittheile. Nach dem, was ich von dem für die Wissenschaft viel zu früh verstorbenen Fraunhofer und v. Yelin weifs, befindet sich eine vollständige Erklärung der Polarisationsphänomene nach der Undulationstheorie in den nachgelassenen Papieren Fraunhofer's, deren baldige zu hoffende Bekanntmachung überall mit Ungeduld erwartet wird.

[1]) Ueber die Maschinen s. J. T. Mayer comment. de polaritate lum. in Com. Rec. Soc. Reg. Gött. II. Schulze Montanus in Gilb. Ann. LVI. 427. u. a. a. O. Wenn es darum zu thun ist, die Winkel genau zu messen, in denen die verschiedenen Erscheinungen sich zeigen, so gehört die durch Biot selbst angegebene unter die zweckmäfsigsten. Sehr bequem, zum Messen eingerichtet, und vorzüglich zum Beobachten derjenigen Modificationen sehr geeignet, welche ein Prisma von Isländischem Doppelspath den Erscheinungen der Polarisation mittheilt, ist die im v. Utzschneiderschen optischen Institute in München für 88 flo. verfertigte.

reflectiren wird. Für die Bequemlichkeit ist es sehr geeignet, wenn der obere Spiegel in ein bis an den Rahmen verlängertes Rohr eingeschlossen, und der von der oberen Scheibe reflectirten Strahl durch einen kleinen Fangspiegel mit der Axe des so gebaueten Instrumentes parallel ins Auge reflectirt wird. Statt der oberen Glasscheibe kann für viele Versuche sehr zweckmäſsig ein Kalkspathprisma genommen werden.

Stehen die Ebenen der beiden unbelegten oder mit schwarzem Papier foliirten Spiegelgläser a; b; parallel, und der Lichtstrahl fällt in dem angegebenen Winkel auf dieselben, die Richtung nach der Weltgegend sey welche sie wolle, so wird derselbe vom zweiten Spiegel völlig reflectirt, verschwindet aber mehr, wenn die zweite Scheibe bei gleichbleibendem Einfallswinkel des Lichtstrahls mit der ersten Scheibe einen Winkel macht, bis zum gänzlichen Verschwinden bei 90° oder 270°. Nach **Malus** soll in diesem Falle der Lichtstrahl deswegen verschwinden, weil dann das Licht insgesammt durch die Glasscheibe dringe [1]). Ob aber das Licht auf diese Weise, oder vielmehr durch sonstige Modificationen seine Intensität verliert, wie mir nach einigen vorläufigen Beobachtungen und andern analogen Erscheinungen nicht zweifelhaft scheint, verdiente durch genügende Versuche ausgemittelt zu werden. Vergl. §. 128.

Zu grelles Sonnenlicht ist weniger günstig, als gemäſsigtes Tagslicht, und am schönsten zeigen sich die Erscheinungen der Polarisation, wenn man dazu das von weiſsen Wolken reflectirte Sonnenlicht anwendet. Um das Verschwinden des Lichtes bei den angegebenen Winkeln des oberen Spiegels zu zeigen kann man sich auch einer brennenden Kerze bedienen, und da nicht von allen Puncten derselben die Strahlen unter gleichen Winkeln reflectirt werden können, wie das genaue Zutreffen der Erscheinungen fordert, so thut man wohl, den Rahmen der Maschine mit einem Deckel zu versehen, welcher einen nicht dicken Lichtstrahl durch ein Löchelchen fallen läſst. Daſs übrigens das Schwinden des Lichtes eine Folge der Polarisation sey, und nicht etwa davon herrühre, daſs wegen der Richtung des Spiegels ein von demselben reflectirter Strahl nicht ins Auge gelange, dieses läſst sich dadurch beweisen, wenn man auf die untere Glasscheibe einen foliirten Spiegel legt, in welchem Falle

[1]) S. Gilb. Ann. XXXII. 463. Mém. d. l'Ins. XII. 105 u. 142.

das Licht nur unmerklich geschwächt wieder zum Vorschein kommt.

Ist eine der Glasplatten an der hinteren Seite matt geschliffen, so ist ihre Wirkung merklich schwächer, weswegen die Erscheinung unter weniger günstigen Bedingungen beobachtet, von manchen Physikern als gänzlich verschwindend angegeben ist.

Nicht bei allen durchsichtigen Substanzen ist der Polarisationswinkel gleich, sondern er wird durch die brechende Kraft derselben und die des umgebenden Mittels bestimmt, und macht nach Brewster [1]) mit dem gebrochenen Lichtstrahle einen rechten Winkel. Eben dieses Resultat erhielt Fresnel, als er die Polarisation gebrochener Lichtstrahlen bei vollständiger Reflxion derselben untersuchte [2]).

Daſs der im Kalkspath Rhomboeder gewöhnlich gebrochene Lichtstrahl eine gleiche Veränderung erlitten habe, als der von der ersten polarisirenden Scheibe reflectirte, hat Biot durch seine Versuche mit Prismen von Doppelspath aufgefunden [3]).

§. 127.

Geht der polarisirte Lichtstrahl durch vollkommen krystallsirte durchsichtige Körper in dünnen Blättern, welche parallel mit ihrer Krystallisationsaxe geschnitten sind, so zeigt sich beim Umdrehen der Krystallisationsaxe derselben um den polarisirten Lichtstrahl ein vierfacher Wechsel der Intensität desselben, deren jeder um 45° vom früheren entfernt ist. Bei blättrigen Substanzen, vorzüglich dem Glimmer, und noch mehr bei blättrigem Gypse erzeugt dieses ein wundersames und überraschend schönes Spiel der glänzendsten Farben, welche viermal in abwechselnden, um den genannten Winkel abstehenden, Lagen entstehen und schwinden.

Versuche lassen sich nach Arago, dem Entdecker dieser höchst interessanten Erscheinungen, anstellen, wenn

[1]) Phil. Trans. 1818. I.

[2]) S. Ann. Chim. et Phys. XXIX. p. 175.

[3]) S. Précis elem. II. 410. Vergl. Malus in Gilb. Ann. XXXI. 225.

man einen Bergkrystall, Rauchtopas, Turmalin (bei vielem Lichte), blättrigen Gyps und andere vollkommen krystallisirte Fossilien, meistens in sehr dünnen, mit ihrer Haupt-Krystallisationsaxe parallel geschnittenen, Blättern in den Rahmen der Polarisirungsmaschine bringt, und die Umdrehung für die erforderlichen Grade bewerkstelligt [1]. Der Glimmer zeigt die Erscheinung auch bei dickeren Blättern, der blättrige Gyps von Paris aber am schönsten bei möglichst dünnen. Legt man mehrere, verschiedene Farben gebende Blätter über einander, so geben sie die gemischten Farben von geringerer Intensität, welche die nämlichen Veränderungen als die ursprünglich einfachen zeigen, bis zur Dicke von 0,45mm, wo sie weifs erscheinen. Biot nennt dieses die bewegliche, die im vorigen §. erwähnte dagegen die feste Polarisation. Nach Fresnel ändert nicht blofs die Dicke, sondern auch die Temperatur die Farben im FrauenEis. Man kann die Blätter daher in heifses Wasser legen, um die durch Erwärmung und nachfolgende Abkühlung erzeugte Veränderung der Farben zu beobachten [2].

Der Wechsel der gröfseren und geringeren Durchsichtigkeit mancher krystallisirter Körper nach dem Verhältnifs des Winkels, in welchen das Licht einfällt, desgleichen das Farbenspiel im Dichroit und andern ähnlichen Fossilien sind Folgen hiervon.

§. 128.

Der Winkel, welchen der auffallende polarisirte Lichtstrahl mit der Fläche der durchsichtigen dünnen Blätter macht, ändert die Farben derselben nicht, so lange der Durchgang des Strahles nicht dadurch beschränkt wird, und die Richtung der Polarisationsaxe im Azimuth, so wie die Lage der beiden spiegelnden Ebenen gegen einander unverändert bleiben. Blofs der Glimmer macht wegen seiner doppelten Polarisations-

[1]) S. Arago in Mém. de l'Inst. T. XIII. Vergl. Brewster über polarisirende Krystalle in phil. trans. 1818. p. 1.

[2]) S. Ann. dn Chim. et Phys. 1817. mars. 290. Ueber den Zusammenhang dieser Erscheinung mit dem Newtonschen Farbenspiele des Lichtes in dünnen Räumen S. Biot Traité IV. 254 ff. desgl. in Mém. de l'Inst. XII. 135.

axe, deren repulsive Kräfte sich übrigens nach Biot wie 677:100 verhalten sollen, hiervon eine Ausnahme. Wird aber der zweite parallele Spiegel der Lichtpolarisirungsmaschine, oder die Krystallisationsaxe des dünnen Blättchens um den polarisirten Lichtstrahl gedrehet, so entsteht bei 90° und 270° die complementäre Farbe der bei 0° und 180° bestehenden, indem zugleich bei 45° Entfernung von diesen Winkeln die Farbe ganz verschwindet.

Es fallen demnach die Hauptfarben mit denjenigen Winkeln zusammen, bei welchen der weifse Strahl die gröfste Intensität des Lichtes hat, die complementären mit denjenigen, wobei leztere am geringsten, oder das Licht ganz verschwunden ist.

Folgender Farbenwechsel findet nach eigenen Versuchen statt:

Hauptfarbe.		Complementäre.
dunkel violett	— — —	mittel grün,
dunkelbluthroth	— — —	hellgrün,
violett	— — — — —	grüngelb,
dunkelpurpurviolett	— —	blafsgrünlich gelb,
purpurviolett	— — —	gelbgrün,
dunkelviolettblau	— —	hellgelb,
dunkelblau	— — — —	hellgelb,
hellblau	— — — —	dunkelgelb,
hellblaugrün	— — —	gelbroth,
dunkelgrün	— — — —	hellroth,
mittelgrün	— — — —	mittelroth,
hellgrün	— — — =	dunkelroth.

Bei einem sehr dünnen Stückchen ging dunkelschwarzgrün in blafsgelbliches weifs über, wobei jedoch nicht übersehen werden darf, dafs es überhaupt schwer ist, die Beschaffenheit der Farbe genau zu bestimmen, und dafs die Intensität des auffallenden Lichtes leicht einen Unterschied in der Bestimmung der Tiefe der Farbe erzeugt.

Es folgt hieraus ziemlich evident das wirkliche Vorhandenseyn der sieben oder sechs Hauptfarben und eben so das allgemeine Gesetz, dafs zwischen jeder complementären Farbe zwei volle Farben liegen. Aehnliche Farben zeigen sich, wenn man solche dünne Blätter auf einen schwarzen Spiegel legt, das von Wolken reflectirte Licht darauf fallen läfst, und das Bild durch ein Kalkspathprisma oder in einem

zweiten schwarzen Spiegel unter dem erforderlichen Winkel betrachtet.

Enthält die Lichtpolarisirungsmaschine statt des zweiten Spiegels ein Prisma von Doppelspath, so wird der polarisirte Lichtstrahl doppelt gebrochen, jedoch so, dafs durch Umdrehung des Prisma im Azimuth um den polarisirten Lichtstrahl jeder der beiden doppelt gebrochenen Lichtstrahlen bei einer Umdrehung von 360° zweimal das Maximum und das Minimum der Intensität erhält. Geht der polarisirte Lichtstrahl vor dieser doppelten Brechung durch dünne Blätter Gyps, so erreichen auch hierbei die erzeugten Farben viermal ihr Maximum und Minimum, indem jederzeit die complementären Farben zugleich hervorkommen. Höchst merkwürdig ist hierbei, dafs in demjenigen Bilde, in welchem das Licht im Minimo der Stärke und fast völlig verschwunden ist, die Farben des Gypses in ungeschwächter Intensität hervortreten. Vergl. §. 126.

Das eben so schöne, als mannigfaltige und wunderbare Farbenspiel, welches dann eintritt, wenn man mehrere farbenspielende Blättchen über einander legt, und die Azimuthal-Winkel ihrer Hauptaxe ändert, verdient weiter untersucht zu werden [1]).

§. 129.

Wenn man das von weifsen Wolken reflectirte, oder von einer argandschen Lampe durch mattgeschliffenes Glas durchgehende, von einem schwarzen Spiegel reflectirte Licht durch eine aus Doppelspath geschnittene Platte, deren Flächen auf der Hauptaxe normal sind, in der Richtung dieser Axe fallen, und dasselbe dann von einem zweiten schwarzen Spiegel in dem bekannten Polarisationswinkel reflectirt werden läfst, so zeigen sich concentrische farbige Kreise, welche von einem schwarzen Kreuze durchschnitten sind. Ein ähnliches Farbenspiel mit einem dunkeln Kreuze, welches bei der Entstehung der complementairen Farben hell wird, zeigt sich gleichfalls, wenn der polarisirte Lichtstrahl durch hinlänglich dicke unvollkommen krystallisirte

---

[1]) S. Biot Traité IV. 482. Mém. de l'Acad. 1817. T. II. p. 41.

Körper, oder durch mehrere auf einander gelegte Glasscheiben fällt.

Biot hat für diesen Versuch eine eigene Maschine in Vorschlag gebracht, indeſs läſst sich derselbe mit jedem für die Polarisation eingerichteten Apparate gleichfalls anstellen. Die Anschaffung eines geeigneten Prisma von Isländischem Doppelspathe hat einige Schwierigkeiten, weil dieser blättrige und weiche Körper durch Schneiden eine rauhe Oberfläche erhält, welche bei weitem nicht so leicht als bei härteren Körpern polirt werden kann. Wenn man indeſs die Erzeugung eines dunkelen oder hellen, von verschiedenfarbigen Kreisen umgebenen Kreuzes nicht gerade durch Kalkspath bezweckt, sondern durch andere unvollkommen krystallisirte Körper, so darf man hierzu nur gemeine Glaswürfel von schlecht gekühltem Glase wählen, welche beim Durchfallen eines von irgend einer Glasscheibe im gehörigen Polarisationswinkel reflectirten, von hellen, weiſslichen Wolken auf sie fallenden Lichtstrahls die Erscheinungen in gröſserer oder geringerer Deutlichkeit und Schönheit zeigen.

Schon Malus entdeckte in verschiedenen animalischen und vegetabilischen Substanzen eine Neigung zur Farbenbildung [1]), und Arago in verschiedenen unvollkommen krystallisirten Substanzen [2]). Die eigentliche merkwürdigste Erscheinung des schwarzen Kreuzes und der Farbenbilder in den Ecken eines Glaswürfels aber beobachtete zuerst Seebeck [3]). Seitdem hat sich besonders Brewster damit beschäftigt, und den Einfluſs der Erhitzung und ungleichen Abkühlung, ja selbst der mechanischen Pressung des Glases aufgefunden [4]).

Fällt der vom untern Spiegel reflectirte polarisirte Lichtstrahl durch ein Kalkspathprisma, mit der Hauptaxe desselben parallel, und läſst man ihn vom obern Spiegel reflectirt ins Auge gelangen, so kann kein doppeltes Bild ent-
Fig. 158] stehen §. 125, wohl aber bemerkt man concentrische Kreise, welche mit den Newtonschen Farbenringen §. 132 Aehnlichkeit haben, zugleich aber von einem schwarzen

[1]) S. dessen angezeigte Schrift, desgl. bullet. de la soc. phil. 1810 und 11.

[2]) S. Mém. de l'inst. XII. 93

[3]) S. Schweig. J. VII. 259. XII. 1.

[4]) S. J. d. ph. LXXXIII. 203. phil. trans. 1815. Vergl. Biot in Ann. de Chim. et Phys. 1816. Dec.

Kreuze durchschnitten sind, welches bei der Drehung des oberen Spiegels um 90° sich in ein weifses verwandelt. Die erzeugten Farben und das schwarze Kreuz sind so viel schöner, je dünner die Platte ist, welche man zu dem Versuche wählt. Aehnliche Erscheinungen zeigen auch andere Krystalle mit einer Axe der doppelten Brechung, jedoch ist selbst die Reihenfolge der Farben nach Herschel [1]) nicht bei allen gleich. Brewster [2]) benutzte diese Erscheinungen als Mittel, um die Krystalle mit einer Axe aufzufinden. Ungleich verwickelter sind die auf solche Weise entstehenden Figuren, wenn der polarisirte Lichtstrahl auf ähnliche Weise durch Krystallblättchen mit doppelter Axe fällt; denn wenn diese einander nahe sind, so dafs der Licht-
Fig. 159] strahl mit beiden parallel durchgeht, so nimmt man ein sehr in die Länge gezogenes Kreuz wahr, welches doppelte, von andern verlängerten gemeinschaftlich umgebene farbige Kreise hat [3]).

Dafs diese Erscheinungen nicht von der Krystallisation und den hierzu gehörigen Axen allein abhängen, weit wahrscheinlicher dagegen durch eine nicht überall symmetrische Anordnung der Elemente durchsichtiger Körper hervorgerufen werden, womit auch §. 125 die doppelte Brechung in Zusammenhang gebracht wurde, geht daraus evident hervor, dafs partiell erhitzte oder erkältete Glasstücke ein ähnliches Verhalten zeigen. Wenn man nämlich dicke Stücke Spiegelglas an der einen Seite durch ein daran gehaltenes heifses Eisen erhitzt, so kommen farbige Streifen in dem-
Fig. 158] selben zum Vorschein, und ein solcher Cylinder mit einer Vertiefung in seiner Axe zeigt das angegebene schwarze Kreuz mit den concentrischen farbigen Kreisen, wenn man heifses Quecksilber in die Vertiefung giefst [4]). Ich selbst gebrauche zu ähnlichen Versuchen Scheiben von hellem Spiegelglase, 1,5 Zoll in Quadrat und 4 bis 7 Lin. dick. Bei gleichmäfsiger Temperatur zeigen diese keine ungewöhnliche Erscheinungen beim Durchfallen des polarisirten Lichtstrahls; werden sie aber an einer Seite durch ein genähertes Kerzenlicht erwärmt, so zeigt sich ein Theil des entstehenden Kreuzes, geschieht die Erhitzung aber an beiden

[1]) Phil. trans. 1820.

[2]) Phil. trans. 1818. p. 211.

[3]) S. Brewster a. a. O. Herschel in Trans. of the Cambridge Phil. Soc. I. p. 21.

[4]) S. Brewster in Schweigg. Journ. XVII. 148.

Fig. 160] entgegengesetzten Seiten durch zwei Lichtflammen, so sieht man ein sehr schönes, ganz regelmäſsig gestaltetes, an seinen vier Enden in die Breite auslaufendes, dunkelschwarzes und nach einer Drehung des obern Spiegels um 90° kenntlich weiſses Kreuz. Farbige Kreise habe ich übrigens bishero bei diesen Versuchen nicht wahrgenommen. Aehnliche Erscheinungen werden durch partielles starkes Zusammenpressen solcher Glasstücke erzeugt.

Daſs ungleiche Dichtigkeit oder die nicht symmetrische Anordnung der Theile in denjenigen Körpern, bei denen sich diese Erscheinungen zeigen, die Ursache derselben sey, dieses ist kaum zu bezweifeln wenn man die zulezt genannte Ursache ihrer Entstehung und den Umstand berücksichtigt, daſs ähnliche Phänomene zum Vorschein kommen, wenn man dicke Stücke schlecht gekühlten Glases zu den genannten Versuchen nimmt. Am geeignetsten hierzu sind Glaswürfel von 1 bis 1,5 Z. Seite oder mehrere zur Bildung eines solchen Würfels über einander gelegte Scheiben Spiegelglas in einer blechernen Fassung. Fällt der polarisirte Fig. 161] Lichtstrahl durch diese, so sieht man ein schwarzes Kreuz und an den vier Ecken übereinstimmende farbige concentrische Kreise von ungleichen Dimensionen der in einander sich verlierenden und auswärts verwaschenen Farben. Wird der obere Spiegel 90° umgedrehet; so erscheint statt des schwarzen Kreuzes ein helles, und die vorher beobachteten Farben sind mit den complementären vertauscht. Das Kreuz selbst zeigt sich unter günstigen Bedingungen mit einer schwachen farbigen Einfassung versehen. Alle nicht gut gekühlte Glassorten sind hierzu brauchbar, und die schlechtesten Stücke, wenn sie nicht zu wenig durchsichtig sind, alte Glasstöpsel, Stücke zerbrochener Stangen u. s. w. sind meistens hierzu vorzüglich geeignet, selbst der dicke Boden der bologneser Flaschen zeigt solche Figuren. Wird statt des oberen Spiegels ein Kalkspathprisma angewandt, so kommen beide Bilder zum Vorschein, sowohl das mit dem schwarzen als das mit dem weiſsen Kreuze, welche bei einer Umdrehung des Prisma durch 360 Grade viermal wechseln und zwischen jedem Wechsel verschwinden. Dabei ist allezeit das eine Feld, worin die Figur sich befindet, hell, das andere dunkel, ohne daſs dieses auf die Lebhaftigkeit der Farben einen Einfluſs hat. Nimmt man statt des Würfels einen Cylinder, so rücken die concentrischen Kreise mehr in die 4 Ecken des Kreuzes, und überhaupt ändern sich die Anordnungen dieser Figuren, wenn

der Glaskörper anders geformt ist, z. B. ein halber Cylinder, eine dreieckige Säule u. s. w.

Hierbei erwähne ich die Resultate einiger Versuche, welche mir für die Theorie der gesammten Polarisationserscheinungen von nicht geringer Wichtigkeit scheinen, und wozu ich mich einer eigends eingerichteten Vorrichtung bediente. Sie bestand aus einem 2,5 F. langen 5,5 Z. weiten Cylinder von schwarzgefärbtem Weifsblech, über welchem die obere unbelegte und nicht geschwärzte Glastafel hinausragte, in welcher die untere aber so eingeschlossen war, dafs die entstandenen Figuren durch eine Oeffnung mit Abhaltung des stärkeren äufseren Lichtes beobachtet wurden. Der Lichtstrahl fiel nach der Reflexion vom oberen Spiegel nach unten, und konnte nach der Reflexion vom unteren Spiegel bequem beobachtet werden; zugleich war der Cylinder in der Mitte um seine verticale Axe drehbar, so dafs die obere oder untere Glasscheibe im Azimuth durch einen ganzen Kreis gedrehet werden konnte. Wurde in einen Ring in der Mitte des Cylinders ein Glaswürfel gelegt, so gab die untere Spiegelscheibe die bekannten Figuren und beim Drehen des Cylinders die gewöhnlichen Abänderungen derselben, aber beide blieben sich gleich, wenn über die untere Scheibe zwei, drei oder mehrere Glasscheiben parallel mit dieser gehalten wurden, indem dann jede dieser Scheiben die nämliche Figur reflectirte, mit geringer Verminderung der Intensität des Lichtes. Wurde aber eine von diesen Scheiben bis zu 90 Graden um den Lichtstrahl gedrehet, so gab sie die Figur mit den complementären Farben, während in den übrigen Scheiben die ursprünglichen blieben. Das von einer Scheibe reflectirte Bild kann aufserdem auf eine andere und von dieser wiederum auf eine dritte reflectirt werden, und so zum Auge gelangen, und wird in diesem Falle die nämlichen Farben zeigen, wenn der Parallelismus beider beibehalten wird, dagegen die complementären, wenn eine von beiden um 90 Grade gedrehet ist [1]).

Aus diesen Thatsachen ergiebt sich zuerst die wichtige Folgerung, dafs ein Wechsel des Durchgehens und der Spiegelung, wie er nach Malus als Folge der Lage, worin sich der zweite Spiegel der Polarisationsmaschine gegen den ersten befindet, ganz unstatthaft ist; denn wenn auch durch Drehung des einen von diesen das Feld, worin sich die gespiegelte Figur befindet, dunkel wird, so beobachtet man

[1]) Gilb. Ann. LVII. 203.

dennoch beide in den mehreren mit einander parallelen Scheiben, und auf gleiche Weise auch das helle Feld mit der ihm zugehörigen Figur. In beiden Fällen also dringen die einmal polarisirten Lichtstrahlen eben so durch das Glas und werden zugleich von demselben reflectirt, wie dieses bei den nicht polarisirten der Fall ist. Zweitens aber erhält der einmal polarisirte Lichtstrahl zwar eine gewisse bleibende Eigenthümlichkeit, welche jedoch durch die jedesmalige Richtung, in welcher er auf transparente und zugleich spiegelnde Körper auffällt, nach bestimmten Gesetzen modificirt wird, ohne seine erste Disposition beim Durchgehen durch dieselben zu verlieren. Endlich ist zwar noch keineswegs photometrisch mit hinlänglicher Genauigkeit ausgemittelt, ob der polarisirte Lichtstrahl beim Durchgange durch mehrere Glasscheiben an Stärke verliert, und wie viel dieser Lichtverlust beträgt, es wäre indefs für die Theorie von grofser Wichtigkeit, hierüber genauere Bestimmungen zu erhalten, und gewifs ist, dafs die Lichtschwächung nicht grofs seyn kann. Dieses stimmt auch damit überein, dafs dicke Glaswürfel oder mehrere übereinander gelegte Scheiben das schwarze Kreuz und die zugehörigen Farben sehr lebhaft zeigen.

§. 130.

Alle diese Erscheinungen werden in einem geringeren Grade auch durch metallene Spiegel, wenn sie die erforderliche Neigung haben, hervorgebracht, weniger durch belegte gläserne, als durch eigentliche metallene.

Es liegt wohl so ziemlich in der Natur der Sache, dafs solche Körper, welche das Licht nicht in ihr Inneres dringen lassen, insbesondere wenn sie durch Politur der Oberfläche zu Spiegeln gemacht sind, das auf sie fallende Licht unverändert zurück werfen. Allerdings mufs man voraussetzen, dafs dasselbe mit den am vollkommensten spiegelnden Körpern selbst in unmittelbare Berührung oder mindestens in ihre Wirkungssphäre komme, wenn überhaupt Spuren einer Polarisation stattfinden sollen. Im Allgemeinen darf man annehmen, dafs von den auffallenden Lichtstrahlen nur wenige so weit in die eigenthümlich spiegelnden Körper eindringen, um von ihnen polarisirt zu werden, und dafs die erzeugte Wirkung in der Menge des unverändert reflectirten Lichtes sich verliere, wonach die Erscheinung damit zusammenfällt, dafs die eigenthümliche Farbe

der spiegelnden Körper gleichfalls durch die Menge des reflectirten weifsen Lichtes fast verschwindet. Merkwürdig ist dabei, dafs foliirte Glasspiegel, bei denen man nach der Emanationshypothese doch ein Eindringen der Lichtstrahlen in die Masse annehmen mufs, mindesten keine stärkere Polarisation desselben erzeugen, als eigentliche Metallspiegel, welches jener Theorie nicht günstig ist; aber auch die Undulationstheorie giebt hierüber keine genügende Rechenschaft, insofern es eine kühne Voraussetzung seyn würde anzunehmen, dafs die durch die metallene Folie bedingten Wellen die durch das Glas bedingten rücksichtlich ihrer Polarisation aufhöben.

Ist die Politur der spiegelnden Flächen durch Hämmern hervorgebracht, so werden die Bilder wellenförmig. Besser sind geschliffene oder blofs gewalzte Metalle, z. B. Stanniol oder Zinkblätter, bei denen selbst der Einfallswinkel nicht so bestimmt ist, als bei Spiegelscheiben. Sogar weifses und gefärbtes Papier, Holz, Elfenbein und wahrscheinlich alle das Licht nur wenig reflectirende Körper zeigen bei hinlänglichem Lichte die angegebene Wirkung, wiewohl in einem geringeren Grade.

Im Ganzen hat noch keine Theorie die gesammten Erscheinungen der Polarisation genügend erklärt. Biot hat sich in seinem oft erwähnten grofsen Werke viele Mühe gegeben, sie mindestens unter allgemeine Gesetze zu ordnen, und hierbei viel Scharfsinn und grofse Gewandtheit im Calcül bewiesen, allein schon viele der hier mitgetheilten Erscheinungen fügen sich der Emanationstheorie nicht. Eben so wenig aber hat bis jezt noch jemand alle Thatsachen aus den Gesetzen der Undulationen genügend zu erklären vermogt, und es fragt sich, ob dieses dem Fleifse und Scharfsinne Fraunhofer's gelungen ist.

8) Farbenerzeugung durch dünne Lagen.

§. 131.

Alle sehr dünne Lagen der Körper, vorzugsweise der durchsichtigen, wenn sie an einer oder an zwei Seiten von andern durchsichtigen Körpern begrenzt sind, geben durch reflectirtes Licht ein eigenthümliches Spiel gröfstentheils sehr lebhafter prismatischer Farben. Man nennt diese, die *Newtonschen Farbenkreise*, weil

Newton sie zuerst vorzüglich beachtete, mafs und zu erklären versuchte.

Die Erscheinung verdient in dieser ihrer Allgemeinheit berücksichtigt zu werden. Metalle werden selten in solcher Feinheit dargestellt, indefs gehört das Anlaufen des Stahls und das Farbenspiel anderer Metalle bei anfangender Oxydation gleichfalls hierher. Etwas Aehnliches zeigt sich beim Goldfirnifs auf polirtem Messing, wenn er zu heifs aufgetragen ist, beim Schillern der Fischschuppen, Federn und Schmetterlingsflügel, und in unzähligen andern Fällen.

Am gemeinsten ist dieses Farbenspiel bei dünnen Lagen durchsichtiger Körper, z. B. bei der durch die berührende Luft veränderten Oberfläche der frischen tinctura quassiae, ligni nephritici u. a. bei einem tropfen Oel über einer grofsen Wasserfläche, bei Seifenblasen [1]), sehr dünnen Glasplättchen geblasener Kugeln u. a. m. Vorzüglich gehört dahin das schöne Farbenspiel des der freien Luft und den Sonnenstrahlen ausgesetzten Glases, wenn dasselbe mit sehr dünnen Lagen heterogener Körper überzogen ist, den sogenannten mattgewordenen, abgestandenen, verblindeten, schöne Farben spielenden Fensterscheiben [2]). Selbst ältere Glasspiegel zeigen neben den eigentlichen Bildern solche Farben, wenn das von weifsen Wolken auf sie fallende Licht von ihrer Vorderfläche reflectirt wird. Im Allgemeinen ist die Erscheinung am schönsten, wenn das von weifsen Wolken oder nur von der Luft reflectirte Licht auf die farbenspielenden Körper fällt, am häufigsten aber wird dieselbe beobachtet beim sogenannten Irisiren des zersplitterten Glases oder sonstiger von feinen Rissen durchdrungener Mineralien.

§. 132.

Die Erscheinung wurde beobachtet und wissenschaftlich behandelt durch Newton. Dieser legte zwei convexe Linsen von sehr grofsen Brennweiten auf einander, oder eine solche Linse auf ein vollkom-

---

[1]) S. Gilb. Ann. XVIII. 256.

[2]) In meiner, von der Harlemer Societät gekrönten Preisschrift habe ich nachgewiesen, dafs sich dieser oft sehr schöne farbige, äufserst dünne, Ueberzug künstlich erzeugen läfst.

men planes Glas, so dafs die Flächen derselben in einem sehr kleinen Winkel divergirten, und erhielt im Puncte ihrer Berührung einen schwarzen Fleck, welcher zunächst von einer weifsen Kreisfläche, und diese alsdann durch eine unbestimmbare Menge prismatisch-farbiger concentrischer Kreise umgeben war. Weil es jezt schwierig ist, solche Linsen zu bekommen, so erhält man leicht ähnliche Resultate, wenn man zwei etwas dicke nicht grofse Spiegelglasscheiben auf einander drückt, oder am besten wenn man zwei Prismen von Glas mit kleinen brechenden Winkeln so auf einander legt, dafs sie ein Parallelopipedon bilden.

Die höchst interessante regelmäfsige Reihenfolge des schwarzen Punctes in der Mitte, des umgebenden weifsen Kreises und der dann folgenden farbigen Kreise läfst sich auf eine interessante Weise anschaulich machen, wenn man zwei kleine, nicht stark gebogene convexe Linsen mit ihren Erhabenheiten in Berührung gebracht in eine Fassung so einschliefst, dafs sie zugleich etwas zusammengeprefst werden, und sie dann in ein Sonnen- oder Lampen-Mikroskop bringt, um die vergröfserten Kreise auf einer weifsen Wand aufzufangen [1]. Der in der Berührung beider erscheinende schwarze Punct beweiset, dafs Spiegelplatten, wenn man sie auch noch so fest zusammendrückt, wobei sie Adhäsion aneinander zeigen §. 67., dennoch einen zwischenraum zwischen sich lassen, weil sie sonst gleichfalls dunkel werden müfsten. Eine etwas dicke Platte von hellem Spiegelglase gegen eine convexe Linse von langer Brennweite gedrückt, läfst den dunkelen Fleck, den weifsen und die umgebenden farbigen Kreise gleichfalls erblicken. Man kann eine solche Glasplatte auch gegen andere reflectirende Körper drücken, um ähnliche Erscheinungen zu erhalten, auch zeigen sich dieselben in möglichst leerem Raume, und bei zwischenliegenden durchsichtigen Medien. Entfernen sich die Flächen nicht nach einem bestimmten Gesetze, so sind die Farbenringe nicht genau concentrisch, auch giebt es oft mehrere schwarz erscheinende Berührungspuncte. Durch eine Loupe betrachtet werden sie deutlicher, und die feineren entfern-

[1]) S. Young in Gilb. Ann. XVIII. p. 257. Vergl Baumgartner Naturlehre p. 337.

teren, für sich nicht sichtbaren, werden kenntlich, wenn man sie durch ein gläsernes Prisma betrachtet. Durch dieses kommen auch Farbenkreise auf dünnen Glimmerblättchen zum Vorschein, vorzüglich wenn man sie auf schwarzen Grund legt, obgleich das bloſse Auge keine wahrnimmt.

Newton bestimmt nach genauen Messungen für diese Erscheinungen folgende Gröſsen, indem er die Durchmesser der Kreise maſs und den des kleinsten = 1 setzte:

Durchmesser.		Quadrate derselben.		Differenzen
1,00000	—	1		
1,73205	—	3	—	0,73205
2,22607	—	5	—	0,50402
2,64575	—	7	—	0,40968
3,00000	—	9	—	0,35425
3,31663	—	11	—	0,31663
3,60555	—	13	—	0,28892
3,87290	—	15	—	0,26743

Die Lage der tiefsten Farben dagegen war so, daſs, wenn er für den Mittelpunct des Schwarzen 0 setzte, die Durchmesser der übrigen in dem Verhältnisse der Zahlen 2; 4; 6; 8 . . . folgten. Auch die Dicke der Luftschicht wurde gemessen, welche eine Farbe hervorbrachte, und für die erste glänzendste $= \frac{1}{178000}$ Zoll gefunden, welcher Nenner für die folgenden, deren Zähler 3; 5; 7 . . . ist, unverändert bleibt.

Läſst man das Licht durch die Gläser fallen, mit denen man diese Phänomene hervorbringt, anstatt das von denselben reflectirte zu beobachten, so erscheinen die nämlichen farbigen Kreise, jedoch schwächer und mit Weiſs in der Mitte, von Schwarz umgeben, die Kreise selbst aber in complementären Farben.

Merkwürdig ist, daſs die §. 122. angegebene Folge der durch Inflexion erzeugten farbigen Säume hinsichtlich ihrer Reihenfolge mit diesen Farben-Kreisen identisch ist.

§. 133.

Befindet sich, statt der Luft, Wasser zwischen den Glasflächen, so sind die Farbenringe schwächer von Farbe und kleiner von Durchmesser. Noch viel

kleiner aber erscheinen sie auf Seifenblasen, bei denen an der dünnsten Stelle gleichfalls ein schwarzer Fleck sichtbar wird. Fällt einfaches prismatisches Licht auf diese Farbenkreise, so erscheinen sie in diesen einfachen Farben, und ihre Grenzen sind dunkel.

Newton machte diese Versuche, indem er zwischen die Prismen nach schon gebildeten Farbenringen Wasser dringen liefs. Er fand den Durchmesser verringert im Verhältnifs von 7 : 8, deren Quadrate 49 : 64 das Verhältnifs der Durchmesser nahe = 3 : 4, also dem Brechungsvermögen gleich machen. Die Seifenblasen müssen unter einer dünnen Glasglocke gegen Ausdünstung und schnelles Zerspringen gesichert werden, oder man kann sie besser und bequemer in einem solchen gläsernen Gefäfse an einem hineingesenkten Rohre erzeugen und längere Zeit erhalten. Der Durchmesser ihrer Farbenringe ist 24mal geringer als bei der Luft. Fällt nicht weifses, sondern homogenes prismatischfarbiges Licht auf diese Farbenkreise, oder betrachtet man sie durch ein gefärbtes Glas, so erscheinen sie blofs von dieser Farbe, und die Grenzen derselben sind dunkel.

Newton theilt die Farbenreihen rücksichtlich der Dicke des Mittels, durch welches sie erzeugt werden, in Beziehung auf die im vorigen §. angegebene Normalgröfse in verschiedene Ordnungen ab, deren Reihenfolge bis zur siebenden in folgender Tabelle gegeben ist [1]).

Ordnungen	Hervorgebrachte Farben	Dicke der farbengebenden Mittel in Millionth. eines engl. Zolles: Luft	Wasser	Glas
1	sehr schwarz	0,500	0,375	0,322
	schwarz	1,000	0,750	0,645
	Anfang d. Schwarz	2,000	1,500	1,276
	blau	2,400	1,800	1,550
	weifs	5,25	3,875	3,400
	gelb	7,111	5,333	4,600
	orange	8,000	6,000	5,166
	roth	9,000	6,750	5,800

[1]) S. Biot Traité IV. 77

Ordnungen	Hervorgebrachte Farben.	Dicke der farbengebenden Mittel in Millionth. eines engl. Zolles Luft	Wasser	Glas
2	violett	11,166	8,375	7,200
	indigo	12,833	9,625	8,128
	blau	14,000	10,500	9,000
	grün	15,125	11,333	9,714
	gelb	16,276	12,200	10,400
	orange	17,222	13,000	11,111
	hochroth	18,333	13,750	11,833
	scharlach	19,666	14,750	12,666
3	purpur	21,000	15,750	13,550
	indigo	22,100	16,571	14,250
	blau	23,400	17,550	15,100
	grün	25,200	18,900	16,250
	gelb	27,143	20,333	17,500
	roth	29,000	21,750	18,714
	bläulichroth	32,000	24,000	20,666
4	bläulichgrün	34,000	25,500	22,000
	grün	35,276	26,500	22,750
	gelblichgrün	36,000	27,000	23,222
	roth	40,333	30,250	26,000
5	grünlichblau	46,000	34,500	29,666
	roth	52,500	39,375	34,000
6	grünlichblau	58,750	44,000	38,000
	roth	65,000	48,750	42,000
7	grünlichblau	71,000	53,250	45,800
	röthlichweiſs	77,000	57,750	49,666

Ganz mit der Erzeugung dieser Farben identisch findet sich die Farbenerzeugung in den verschiedenen sonstigen dünnen Blättchen beim Durchgange des polarisirten Lichtes, so daſs sie die nämliche Reihenfolge nach ihrer wachsenden Dicke und mit Rücksicht auf ihr eigenthümliches Brechungsverhältniſs befolgen. Zur genaueren Prüfung dieser Behauptung wandte Biot das von Cauchoix erfundene, (nicht ganz paſslich) Spherométre genannte, Werkzeug an, um die Dicke der geprüften Blättchen genau zu messen. Dieses besteht aus einer von drei feinen Stahlspitzen getragenen Platte, in deren Mitte eine vierte, gleichfalls sehr feine, Stahlspitze herabgeht, und durch eine Mikrometerschraube höher und niedriger geschroben werden kann. Setzt man diesen Apparat auf eine ganz ebene Spiegelglas-

scheibe so, daſs alle vier Spitzen damit in genaue Berührung kommen, legt dann unter die mittlere, etwas in die Höhe geschrobene Spitze ein dünnes Blättchen, so giebt die Zahl der Umdrehungen, welche bei der Mikrometerschraube erforderlich ist, damit die ihr zugehörige Spitze mit ihm in Berührung komme, seine Dicke an [1]). Auch ohne dieses, wegen der auſserordentlichen Feinheit der Messung kaum hinlänglich sichere, Werkzeug kann man die Richtigkeit der mitgetheilten Tabelle und die Uebereinstimmung der darin enthaltenen Farbenfolge mit derjenigen, welche dünne Gypsblättchen geben, dadurch prüfen, daſs man zwei oder mehrere Blättchen auf einander legt §. 128. Wählt man hierzu z. B. zwei Glasblättchen, welche einzeln genommen im polarisirten Lichtstrahle das zwischen 17 und 18 der 2ten Ordnung liegende Roth geben, und legt sie übereinander, so erhält man das mit 35 bezeichnete Grün der vierten Ordnung, und auf gleiche Weise lassen sich auch andere Farben herstellen.

Darf man diese Sätze als bewiesen betrachten, so läſst sich die Dicke der Blättchen bei bekanntem Brechungsverhältniſs aus derjenigen Farbe berechnen, welche sie im polarisirten Lichtstrahle geben. So ist z. B. das Brechungsverhältniſs des Glimmers gegen Luft = 1,53. Zeigt daher ein Glimmerblättchen das Blau der dritten Ordnung, so ist seine Dicke $= \frac{23{,}4}{1{,}53}$ d. i. = 15,3 Millionthel eines englischen Zolles. Die gehaltreichen Untersuchungen von Herschel[2]) und von Knox[3]) bestätigen die aufgestellten Sätze.

9) Gefärbte Schatten.

§. 134.

Wird der an sich schwarze Schatten von schwachem Lichte erleuchtet, so wird er gefärbt. Vorzüglich gehört hierher die blaue Farbe, welche das schwache Tageslicht des Morgens und Abends dem Schatten eines Kerzenlichtes mittheilt, und umgekehrt die gelblich rothe, welche dem Schatten des schwachen

[1]) Biot Traité. IV. p. 343.
[2]) Phil. Trans. 1820. p. 45 ff. Aeltere finden sich ebend. vol. XCV.
[3]) Phil. Trans. 1815. p. 161.

Tageslichtes durch Kerzenlicht ertheilt wird. Die Erklärungen dieser Phänomene sind bis jetzt noch eben so vielfach als ungenügend, höchst wahrscheinlich aber gehören die Farben der Schatten zu den subjectiven.

Bisher hat man vorzüglich nur die angegebenen auffallendsten Erscheinungen nämlich die in der Morgen- und Abend-Dämmerung sich so unvergleichlich schön zeigenden blauen Schatten, welche Kerzenlicht vermittelst eines undurchsichtigen Körpers auf weifsem Grunde erzeugt, und die röthlichgelben des gemilderten Tagslichtes, wenn sie durch Kerzenlicht beschienen werden, zu erklären gesucht, allein diese allgemein bekannten Erscheinungen konnten erst durch die Vergleichung mit andern verwandten Phänomenen eine genügende Erklärung erhalten. Sehr interessant sind die Versuche Rumford's[1]), aus welchen im Allgemeinen hervorgeht, dafs allezeit ein blauer und ein gelber Schatten entsteht, wenn zwei sehr verschiedenartige Lichtquellen dieselben erzeugen, oder eine derselben durch gefärbtes Glas fällt. Wirklich liefert das Tagslicht und Kerzenlicht, wenn gleich ersteres durch die verschiedenfarbigsten seidenen Zeuge fällt, blaue und gelbe Schatten, welche etwas ins Röthliche und Grünliche spielen. Die ziemlich allgemeine Erklärung, dafs die Bläue des Himmels die Ursache sey[2]), welche zuerst von Lionardo da Vinci aufgestellt ist, kann daher nicht angenommen werden, weil höchst wahrscheinlich die Bläue des Himmels selbst unter die subjectiven Farben gehört §. 134, auf allen Fall aber diese scheinbare oder wirkliche Farbe der Luft eine solche Färbung des Schattens nicht erzeugen kann, da sie diejenigen Gegenstände, welche von ihr allein beleuchtet werden, z. B. ganz nach Norden gelegene weifse Zimmerwände, nicht im mindesten bläulich gefärbt darstellt, und eben so wenig die durch Franz von Paula Schrank gegebene, dafs die stärkere Beugung der blauen Strahlen die Färbung des Schattens verursache[3]). Eine hiergegen sehr sicher entscheidende, obwohl seltene Beobachtung ist folgende. Wenn im Sommer gegen Sonnenuntergang die gelbrothen

---

[1]) S. Phil. Trans. LXXXIV. p. 107. daraus in Gren Jour. II. 58.

[2]) S. Mongé in Gren Journ. II. 143.

[3]) S. Münchener Denkschriften 1811 u. 12. p. 293. desgl. 1813. p. 51.

Strahlen der Sonne schräg gegen die Wände westlich liegender Fenster fallen, so erhält man bei etwa 6 — 10 Fuſs Entfernung vom Fenster auf weiſsem, horizontal liegenden Papiere einen schwarzen Kernschatten und einen schönen blauen Halbschatten. Dieser wird durch die von den Wänden reflectirten, seitwärts vom Auge schwach wahrgenommenen gelbrothen Strahlen als complementäre Farbe erzeugt, und fällt weg, wenn man ihnen den Rücken völlig zuwendet. Am nächsten kommt die mit vielen interessanten Versuchen und Bemerkungen verbundene Erklärung des Pietro Petrini, welche im Wesentlichen darauf hinausläuft. Wenn unser Auge zwei Lichtmassen A und B zugleich wahrnimmt, und in A ein farbiger Bestandtheil mit gröſserer Intensität wirkt, als in B, so verschwindet in eben dem Maſse der Lichteindruck von B, und bleibt davon nur das Entgegengesetzte übrig. Als Beispiel wird angeführt, daſs der Schatten eines Würfels auf weiſsem Papiere, wenn man das Licht von rothem Papiere auf den Apparat fallen läſst, grün wird [1]). Nach Rumford a. a. O. ist das Ganze subjectiv, indem die Farbe völlig wegfällt, wenn man die Schatten durch ein langes schwarzes Rohr betrachtet. Letzteres ist in sofern richtig, als die Farben überhaupt vom Auge vorzüglich nur durch ihren Gegensatz erkannt werden, und daher insgesammt viel matter erscheinen oder ganz schwinden, wenn man die gefärbten Körper durch ein langes, inwendig geschwärztes Rohr betrachtet. Subjectiv müssen ohnehin die Farben jener Schatten seyn, weil ein Schatten der Natur der Sache nach nur grau seyn kann, und die gefärbten nicht von der Farbe desjenigen Lichtes erscheinen, wodurch sie beleuchtet werden. Einen sehr schönen und stets, auch durch ein langes schwarzes Rohr kenntlichen grünen Schatten erhält man, wenn von zwei Lichtquellen das Licht der einen durch eine nahe davor gehaltene dunkelrothe Glasscheibe fällt. Dagegen liefert eine stark dunkelgrüne Scheibe einen rothen Schatten.

Beguelin [2]) hat früher eine an Thatsachen reiche Abhandlung über die gefärbten Schatten geliefert, neuerdings aber hat Zschokke [3]) eigends Untersuchungen hierüber angestellt, deren Resultat im Wesentlichen dahin geht, daſs

[1]) S. mem. di math. e di fisica della Soc. It. XIII. p. 11.

[2]) Mém. de Berlin. 1767. p. 27.

[3]) Die farbigen Schatten u. s. w. Arau 1826.

das farbige Licht keinen schwarzen Schatten geben könne, sondern einen gefärbten von derjenigen Farbe, welche das Licht haben würde, wenn der Schatten die Farbe des Lichtstrahls hätte. Gegen diese Erklärung, welche mir mehr künstlich, als aus der Natur der Sache hergenommen scheint, ist Trechsel [1]) als Gegner aufgetreten, welcher vielmehr die Farben der Schatten theils als subjectiv theils als objectiv betrachtet, die ersteren in Folge der Ermüdung des Auges durch einen stärkeren Lichteindruck, die lezteren in so fern sie durch die Farbe des Lichtes, welches den Schatten erleuchtet, erzeugt werden.

Aus der Zusammenstellung und Vergleichung dieser und anderer ähnlicher Erfahrungen geht hervor, daſs die Erklärung des Petrini im Wesentlichen die richtige, und aus der Natur der Sache entnommen sey. Jeder Nerv ermüdet nämlich durch einen lange anhaltenden Eindruck auf denselben, und jeder schwächere Eindruck verschwindet oder wird weniger lebhaft empfunden, wenn er von einem anderen stärkeren begleitet ist. Erhält daher das Auge einen starken Lichteindruck von einem gewissen farbigen Lichte, so verschwindet die Empfindung dieser Farbe aus dem schwächeren weiſsen Lichte, und es bleibt daher nur die der übrigen. Im Tageslichte sind überhaupt die gelben Strahlen, als die am stärksten erhellenden, vorherrschend, weswegen ganz weiſse Gegenstände leicht einen gelblichen oder gelbröthlichen Schein erhalten, und man ihrer Färbung, z. B. der Wäsche, der weiſsen Wände u. s. w. etwas Blau zusetzt, um ein milderes Weiſs zu erhalten. Am Morgen und Abend aber dringen auſserdem die gelben und gelbrothen Strahlen am stärksten durch, hauptsächlich aber ist das Kerzenlicht wegen des nicht absolut weiſs, sondern zum Theil nur roth glühenden Kohlenstoffes gelbröthlich, und wenn das Auge daher gegen den Eindruck dieser Farbe unempfindlicher geworden ist, sie also in dem, den Schatten schwach erleuchtenden Lichte nicht wahrnimmt, so muſs die Empfindung des blauen Lichtes hervorstechen. Wird nämlich, um dieses deutlicher einzusehen, aus den 6 prismatischen Farbenstrahlen das Rothe und Gelbe weggenommen, also das Roth an sich, der röthliche Antheil im Orange und im Violett, ferner das Gelb an sich und sein Antheil im Grün (alles dieses bloſs in Beziehung auf den Eindruck genommen, welchen dasselbe auf das Auge hervorbringt), so

[1]) Bibl. univ. XXXII. 3.

bleibt nur Blau übrig. Auf gleiche Weise läſst sich zeigen, daſs ein lebhafter Eindruck des Roth die Empfindung des Grün, und Grün umgekehrt Roth erzeugen muſs. Diese richtige Erklärung ist in neueren Zeiten hauptsächlich durch v. Göthe [1]) gegeben.

10) Subjective Farben.

§. 135.

Oft entstehen Licht- und Farben-Erscheinungen durch den starken oder anhaltenden Lichtreiz anderer Farben. Sie sind in älteren und neueren Zeiten mit eben so vielem Fleiſse als hohem Interesse untersucht ohne daſs man bis jetzt die eigentliche Ursache derselben völlig genau anzugeben vermögte. Bei weitem in den meisten Fällen werden sie dadurch erzeugt, daſs das Auge durch einen starken farbigen Lichtreitz gegen die Empfindung dieser Farbe abgestumpft und unempfindlich ist.

Erscheinungen dieser Art entstehen auf sehr mannigfache Weise, z. B. durch äuſsern mechanischen Druck gegen das Auge, durch Congestionen des Blutes, oder durch krankhaften Zustand des Nerven. Am gemeinsten und bekanntesten sind die Farbenbilder nach starkem Lichtreitze, z. B. nach dem Anblicke der Sonne oder stark beleuchteter Gegenstände. Betrachtet man, den Rücken gegen die hochstehende Sonne gerichtet, farbige Zeuge, namentlich seidene Bänder mit dem Bestreben, die Fäden derselben zu zählen, auf weiſsem Papiere liegend etwa eine Minute genau, und läſst sie dann herabfallen, so steht auf dem Papiere ein gleichgroſses Bild von einer andern, u. z. höchst wahrscheinlich stets der complementären Farbe. Die Ursache hiervon wird nicht eher anzugeben seyn, als bis überhaupt die Gesetze der Wahrnehmung des Lichtes, der Farben und der Bilder durch das Organ des Auges mehr aufgeklärt sind.

Versuche dieser Art sind schon durch Büffon [2]), Prieur [3]), hauptsächlich aber und in groſser Menge durch

[1]) Zur Farbenlehre Th, IV. p. 27.

[2]) Mém. de l'Acad. 1743. p. 147.

[3]) Ann. de Chim. LIV. 1.

Darwin [1]) angestellt. Eine Menge sowohl eigener als auch fremder Versuche haben v. Grotthufs [2]) und v. Göthe [3]) geliefert, über die durch Druck und mechanischen Reitz des Auges entstehenden Lichterscheinungen so wie überhaupt die Nachempfindung eines starken Lichtreitzes ist Purkinje [4]) vorzüglich reichhaltig. Im Allgemeinen werden durch starke farbige Lichtreitze allezeit die Ergänzungsfarben hervorgerufen. Ein Loch in einem grünen seidenen Vorhange vor einem hellen Fenster erscheint daher roth, in einem rothen grün. Nach Trechsel [5]) sind alle Fenster einer Capelle bei Solothurn gelb, und diese Farben nehmen daher alle Gegenstände in derselben an, öffnet man aber einen Fensterflügel, so erscheinen alle im Freien gesehene Gegenstände blau. Brandes [6]) erwähnt, dafs auf gleiche Weise in seinem, durch grüne Gardinen gegen die Sonne geschützten Zimmer alle Gegenstände grün, die von seitwärts einfallenden weifsem Lichte beleuchteten aber schön rosenroth erschienen. Hält man gefärbte Gläser einige Minuten vor das Auge, und nimmt sie dann weg, so erblickt man alle Gegenstände mit der complementären Farbe gefärbt, und zwar geben die dunkelen Farben die hellen, die hellen dagegen dunkle; Roth giebt Grün, Blau Orange, Violett Gelb.

Es läfst sich durch einen entscheidenden Versuch überzeugend darthun, dafs die Erzeugung der jubjectiven Farben durchaus nicht psychisch, sondern rein physiologisch ist, also nicht auf Vorstellungen beruhet, wie manche andere optische Täuschungen. Wenn man nämlich ein gefärbtes Glas blofs vor das eine Auge hält, das andere aber verschliefst, dann eins nach dem andern abwechselnd öffnet und schliefst, so erscheint die complementäre Farbe blofs in dem gereitzten Auge, aber nicht in dem andern. Am besten läfst sich ein ähnlicher Versuch mit einer verticalen Lichtpolarisationsmaschine und einem dunkelgrün gefärbten Glase anstellen, weil überhaupt die grüne und rothe Farbe am leichtesten hervorgerufen wird. Läfst man starkes Son-

[1]) S. Zoonomie. Uebers. von Brandis. Th. I. Abth. II. p. 519. Grosse Magaz. für die Naturgesch. d. Menschen Th. II. St. I.

[2]) Schweigg. Journ. III. 148.

[3]) Zur Farbenlehre Th. I. p 13 ff.

[4]) Beobachtungen über die Physiologie d. Sinne p. 97.

[5]) Biblioth. univ. XXXII. 3.

[6]) Gehler's Wörterbuch Th. IV. p. 128.

nenlicht durch die grüne Scheibe gegen die spiegelnde Glasscheibe fallen, und betrachtet das grüne Feld anhaltend, nimmt dann die Scheibe weg, so erscheint dasselbe rosenroth, aber nur dem einen Auge, welches durch die grüne Farbe gereitzt ist, dem andern dagegen weiſs; und so kann man nach dem Verhältniſs des stärkeren Reitzes mehreremale mit dem nämlichen Erfolge wechseln [1]).

Vorzugsweise gehört die blaue Farbe unter die subjectiven, welche meistens hervortritt, wo Lichtquellen von verschiedener Intensität auf das Auge wirken, s. §. 148, indem diese, als dem schwächeren Licht-Eindrucke, zugehörend, leichter hervorgerufen wird. Eben daher giebt das Sonnenlicht, wenn man dasselbe durch verschiedenfarbige Zeuge fallen läſst, neben Kerzenlicht meistens blauen Schatten s. §. 134, und ebenso ist dieses der Fall oft bei Schatten, welche am Tage durch ungleiche Beleuchtung entstehen [2]), weil im Tagslichte das Gelb vorherrschend ist. Unter die subjectiven Farben gehört daher nach meiner Ansicht auch die Bläue des Himmels, denn daſs man annimmt, die Luft sey, wie manche Glasarten schwach grün gefärbt sind, und daher auf dem Rande diese Farbe, durch die dünnere Fläche aber weiſs zeigen, gleichfalls schwach blau tingirt, steht mit der Erfahrung im Widerspruche, daſs sie das weiſse Licht ganz ungefärbt durchläſst, und auch selbst bei der Beobachtung sehr fern und im Horizonte liegender Gegenstände keine Färbung derselben zeigt. Will man aber annehmen, daſs sie weiſses Licht durchlasse und blaues zurückstrahle, so würde sie einzig in Rücksicht dieses Verhaltens seyn, indem es zwar Substanzen giebt, welche zwei verschiedene Farben durchlassen und zurückstrahlen s. §. 122., aber keine, welche weiſses Licht durchläſst, und gefärbtes zurückstrahlt. Auſserdem aber müſste sie dann nach der Analogie mit anderen Substanzen bei der Tiefe ihrer Tingirung, deren Wechsel gleichfalls gegen diese Ansicht beweiset, ihre Farbe auf andere Körper reflectiren, und auch diesen einen bläulichen Schein geben, wovon keine Spur vorhanden ist. Sind die Wolken am Himmel sehr weiſs (hellgelblich), so erscheint zwischen ihnen der heitere Himmel dunkelblau; zwischen rothen Wolken,

[1]) V. Breda hält die subjectiven Farben für psychische, welche Meinung hiernach, anderer Gründe nicht zu gedenken, unstatthaft ist.

[2]) S. Franz v. Paula Schrank in Münch. Denksch. 1811 u. 12. p. 293. 1813. p. 51.

oder über den gerötheten Gletscherspitzen und den roth schimmernden Eisbergen der Polarmeere erscheint er grün.

Unter die subjectiven Farben gehören auch diejenigen, welche man wahrnimmt, wenn die beiden Flächen einer wenigstens eine bis zwei Linien dicken, schwach gefärbten, Glasscheibe doppelte Bilder eines darin gespiegelten weifsen Stabes zeigen, denn auch hierbei kommen nach meinen Beobachtungen allezeit die complementären Farben zum Vorschein.

Die Erklärung dieser Phänomene hat v. Göthe zuerst am bestimmtesten ausgesprochen, indem er diese Farben für jubjectiv ansieht. Wie bei den farbigen Schatten wird nämlich das Auge durch einen starken Eindruck einer gewissen Farbe gegen diese abgestumpft, so dafs es durch die nämliche im weifsen Lichte nicht weiter afficirt wird, wodurch dann die complementäre so viel stärker reitzt, und hervorstehend scheint[1]).

Andere Erscheinungen, welche nicht sowohl unter physiologische Farben- als vielmehr Licht-Erzeugungen gehören, kommen zwar eben so oft vor, sind aber bei weitem nicht so leicht erklärbar. Dahin gehört der Lichtschein im Auge, wenn die Nerven der Nase, der Stirn, der Zunge durch Volta'sche Elektricität gereizt werden, oder welcher durch einen Druck, Stofs oder selbst durch krankhafte Zustände entsteht. Es läfst sich hierüber nur im Allgemeinen sagen, dafs ein solcher Lichtschimmer auf gleiche Weise durch einen Reiz des Sehnerven erzeugt wird, als die Empfindung des Lichtes überhaupt. Ist der Nerv durch einen starken Lichteindruck, z. B. das Sehen in die helle Sonne oder den Anblick des Blitzes, überhaupt eines sehr hell leuchtenden Körpers sehr gereizt, und es wird dann verschlossen oder gegen einen dunkelen Ort gerichtet, so bleibt die Empfindung des Lichtes noch eine geraume Zeit, welches auf ähnliche Weise zu erklären ist. Endlich erscheinen die schwarzen, durch helles Sonnenlicht beschienenen Buchstaben oft roth, welches mir davon herzurühren scheint, dafs das Auge überhaupt durch das rothe Licht leicht unangenehm, selbst schmerzhaft, afficirt wird, und diesemnach können also die rothen Lichtstrahlen einem überreizten Auge füglich empfindlich, also unter den übrigen vorzugsweise hervorstehend werden.

---

[1]) Vergl. die Versuche von Bourgeois in Ferrussac Bullet. des Sc. math. phys. cet. 1828. Mars. p. 179.

11) Theorie der optischen Erscheinungen.

§. 136.

Bei der Untersuchung der meisten bisher betrachteten optischen Erscheinungen ist zugleich angegeben, auf welche Weise dieselben sowohl nach der Emanationstheorie als auch nach der Undulationshypothese erklärt werden können. Die Farbenbildung in dünnen Räumen aber läfst sich unter keine von beiden Hypothesen unmittelbar bringen, sondern hat beide veranlafst, zu gewissen Hülfshypothesen ihre Zuflucht zu nehmen, welche dann auf die Erscheinungen der Beugung, doppelten Brechung und Farbenerzeugung überhaupt angewandt wurden. Mit Hülfe derselben lassen sich die genannten Phänomene allerdings, wenn auch mit verschiedener Leichtigkeit und Consequenz erklären, auf die Polarisation aber ist noch keine derselben vollständig angewandt. Die eine dieser Hypothesen ist die durch Newton aufgestellte, wonach den Lichttheilchen gewisse *Anwandlungen* des leichteren Durchganges und der leichteren Zurückstrahlung beigelegt werden. Als Erweiterung derselben, und um sie so manchen räthselhaften Erscheinungen der Zurückstrahlung, Brechung, Beugung und Polarisation des Lichtes besser anzupassen nimmt Biot an, dafs die unmefsbaren feinen Elemente des Lichtes eine gleichmäfsige *Rotation* um ihren Schwerpunct haben, und dafs der eine Pol dieser Rotations-Axe anziehend, der andere abstofsend auf die Oberflächen der verschiedenen Körper und die sie bildenden einzelnen Lagen wirken. Auch die Hauptkrystallisationsaxen der krystallisirten Körper müfsten hiernach eine solche zurückstofsende oder anziehende Wirkung gegen die Axen der Lichtkügelchen und gegen ihre Pole äufsern. Dieser, der Emanationstheorie zugehörigen, Hypothese steht die zur Undulationstheorie gehörige der *Interferenzen* entgegen, welche durch Thomas Young

zuerst aufgestellt an Fresnel, Arago und Fraunhofer lebhafte Vertheidiger fand. Unter Interferenz versteht man das Zusammentreffen von zwei Lichtwellen und diejenigen Veränderungen, welche die Lichtstrahlen in Folge desselben erleiden. Die Undulationstheorie gewinnt unleugbar eine grofse Stütze dadurch, dafs gleichartige Interferenzen, als die beim Lichte angenommenen, mit ähnlichen Wirkungen beim Schalle nachgewiesen werden können.

Newton geht bekanntlich von der Voraussetzung aus, dafs das Licht, aus unmefsbar kleinen Elementen bestehend, von den leuchtenden Körpern ausströme, und sich dann im leeren oder mit Materie erfüllten Raume weiter verbreite. Das weifse Licht besteht aus den hierzu im erforderlichen quantitativen Verhältnisse gemengten einzelnen farbigen Lichttheilchen, welche verbunden den Eindruck des weifsen Lichtes erzeugen. Im leeren Raume ist die Bewegung aller einzelnen gleich schnell, denn sonst, wenn gewisse farbige Lichttheilchen sich schneller, als die übrigen bewegten, müfsten die Jupiterstrabanten beim Eintritte in den Schatten ihres Planeten die Farbe der langsamsten, und beim Austritte die der schnellsten Lichttheilchen zeigen.

Fällt der weifse Lichtstrahl auf irgend einen lichtbrechenden Körper, so werden die einzelnen farbigen Elemente von demselben ungleich angezogen, und hierdurch wird bei allen, jedoch in ungleichem Verhältnisse, eine Beschleunigung bewirkt. Die Anziehung im Allgemeinen bewirkt dann die Brechung, deren Gröfse dieser proportional ist, die ungleiche der einzelnen farbigen Lichttheilchen aber veranlafst die Farbenzerstreuung, wobei die Geschwindigkeit derselben der Gröfse des Brechungssinus proportional ist. Bis soweit ist diese Hypothese den Erscheinungen vollkommen angemessen.

Es ist schon bemerkt §. 105., dafs die Annahme einer zurückstofsenden Kraft, als Ursache der Reflexion, neben einer anziehenden, als Ursache der Brechung, bei den nämlichen Körpern nicht füglich zulässig scheint. Um daher die Spiegelung mit der Brechung zu vereinigen, die eigenthümlichen Farben der Körper zu erklären und verschiedene andere Erscheinungen mit der Emanationshypothese in Einklang zu bringen, stellt Newton die im §.

genannte Hypothese der *Anwandlungen* auf [1]). So lange sich der Lichtstrahl im leeren Raume bewegt, scheint es nicht, dafs in seiner Bewegung und in seinem Verhalten irgend eine Veränderung hervorgehe; sobald aber die Lichttheilchen in die Wirkungssphäre irgend eines Körpers kommen, erhalten sie eine gewisse Disposition, wonach sie entweder leichter durch denselben hindurchgehen oder leichter zurückgeworfen werden, und diese Disposition kehrt in sehr kurzen Perioden gleichmäfsig wieder, so dafs das Licht hiernach leichter hindurchgeht oder leichter zurückgeworfen wird, ohne dafs gerade eine Nothwendigkeit des einen oder des andern vorhanden ist. Newton nannte diese Disposition *accessus* oder *vices* (Anwandlungen, nämlich des leichteren Durchganges oder der leichteren Zurückstrahlung; engl. *fits*, franz. *acces*) ohne einen Causalnexus zwischen der Natur der Lichttheilchen und der wägbaren Körper anzudeuten, auf allen Fall nicht als nothwendig nachzuweisen. Ist die Theorie schon hierin mangelhaft, so erscheint sie als solche noch mehr bei einigen Anwendungen, obgleich verschiedene Erscheinungen sich der Hypothese nicht blofs fügen, sondern sie in gewissem Sinne fast zu fordern scheinen.

Die Körper im Allgemeinen denkt sich Newton aus gewissen Gruppen ihrer Elemente bestehend, welche mit zwischenliegenden Räumen geordnet sind. Bei krystallisirten Körpern bilden die materiellen Gruppen die Blätter, allgemein aber sind die Zwischenräume gröfser als diese absolut dichten materiellen Gruppen, und bei verschiedenen Körpern ungleich grofs, obgleich in der Regel unmefsbar klein. In den materiellen Gruppen ist dann die Brechung des Lichtes ungleich gröfser als in den Zwischenräumen, oder sie wird hierin allein bewirkt.

Eine Anwendung dieser Hypothesen auf die Spiegelung erscheint mangelhaft. Bleibt man zuvörderst dabei stehen, dafs kein Körper ein vollkommener Spiegel ist, so läfst sich allerdings sagen, dafs nicht alle Lichttheilchen die Anwandlung der leichteren Zurückstrahlung erhalten können, und daher einige derselben in den Spiegel eindringen müssen. Die undurchsichtigen Spiegel machen gar keine Schwierigkeit, weil zur Erklärung der durch sie bewirkten Reflexion des Lichtes die Hypothese der Anwandlungen gar nicht erforderlich ist. Für transparente Körper mufs angenommen

[1]) S. Optice Lib. II.

werden, dafs für die Kleinheit der Räume, welche einem Wechsel der Anwandlungen zugehören, die Oberflächen der spiegelnden durchsichtigen Körper nicht als in einer geometrischen Ebene liegend, oder ihre Elemente nicht in solchen Ebenen geschichtet zu betrachten sind, so dafs also nicht in allen Lichttheilchen die nämlichen Anwandlungen erzeugt werden können, weswegen ein gewisser Theil derselben hindurchfallen, ein anderer dagegen zurückgeworfen werden mufs [1]). Für die Spiegelung von der hinteren Fläche der durchsichtigen Körper finden gleiche Voraussetzungen statt, und Biot [2]) versichert, dafs nach seinen mit Pouillet und Deflers angestellten Versuchen die Hypothese auf die Einzelnheiten dieser Phänomene die vollständigste Anwendung leidet.

In gewisser Hinsicht haben Malus [3]), J. T. Mayer [4]) und Biot einen grofsen Theil der zur Polarisation des Lichtes gehörigen Phänomene auf diese Hypothese zurückgeführt. Malus nimmt eine sphäroidische Gestalt der Lichttheilchen, Mayer einfacher eine sphärische an; nach beiden haben dieselben demnach eine Axe und also auch einen Aequator. Es findet dann eine Anziehung zwischen der Axe der Lichttheilchen und der Körperelemente statt, vermöge deren die ersteren, wenn sie in die Anziehungsphäre der lezteren kommen, eine solche Richtung erhalten, dafs sie mindestens zum gröfsten Theile polarisch oder äquatorisch auffallen, und diesemnach von der Glasscheibe entweder zurückgeworfen oder durchgelassen werden. Die Erzeugung der Farben vermöge der durch Biot sogenannten beweglichen Polarisation §. 127. hängt mit der Theorie der Anwandlungen innigst zusammen, wie die Erscheinungen der Farben überhaupt, und dafs das Nämliche bei den farbigen Streifen, welche durch Beugung erzeugt werden, der Fall sey, läfst sich schon in Voraus bestimmen, obgleich gerade diese Phänomene in ihren speciellen Eigenthümlichkeiten einer vollständigen Erklärung noch manche unüberwindliche Hindernisse entgegenstellen.

Diejenigen Phänomene, welche ohne Zweifel die Hypothese veranlafsten, und daher sehr genau zu derselben passen, sind die dunkelen, weifsen und farbigen Kreise, welche

[1]) Vergl. Prieur in Ann. de Chim. LXI. p. 154.
[2]) Traité. T. IV. p. 192.
[3]) Mém. de l'Instit. XII. p. 105 u. 142. Gilb. Ann. XXXII. 463.
[4]) De Apparentiis colorum, a polarit. lum. pendentibus. Gott. 1815. 4

zwischen zwei einander sehr genäherten biconvexen Linsen von langen Brennweiten entstehen §. 131 ff., aber auch diese sind noch nicht in allen Einzelnheiten mit erschöpfender Vollständigkeit erklärt. Für den dunkelen Fleck in den fast unmittelbaren Berührungspuncten beider Linsen müſste man den Abstand zu klein annehmen, als daſs eine Anwandlung stattfinden könnte, und da die Lichttheilchen einmal in Bewegung sind, so werden sie durchfallen, und nicht reflectirt werden, mithin den schwarzen Fleck erzeugen. Schwieriger ist die Erklärung des diesen umgebenden weiſsen Kreises, man müſste denn annehmen, was der Natur der Sache allerdings angemessen scheint, daſs in Folge der Anziehung durch die, die Räume begrenzenden, Körper die Anwandlungen des leichteren Durchganges die zuerst eintretenden wären, folglich die am schnellsten sich bewegenden violetten und blauen Strahlen diesen nachfolgten, von den grünen bis zu den rothen aber jene schon vorüber wären, und daher die entgegengesetzten einträten, in Folge deren diese mit Rücksicht auf die nicht geometrisch ebenen Flächen der begrenzenden Körper zu weiſsem Lichte verbunden zurückgeworfen würden. In sofern die brechbarsten Lichtstrahlen sich in durchsichtigen Mitteln am schnellsten bewegen, sollte man voraussetzen, daſs unter der Bedingung der bei allen farbigen Lichttheilen in gleichen Zeiten wechselnden Anwandlungen die am wenigsten brechbaren, also auch langsamsten, in den geringsten Räumen eine Anwandlung der Zurückstrahlung erhalten, mithin ihre Farbenkreise zunächst an den weiſsen Kreis grenzen müſsten, allein die Erfahrung ergiebt gerade das Gegentheil, indem der violette Kreis zunächst an den weiſsen grenzt. Man muſs also entweder annehmen, daſs die Zeitintervalle der Anwandlungen bei den brechbarsten Lichtstrahlen am kürzesten sind, oder daſs allgemein die Anwandlungen des leichteren Durchganges vorausgehen, wonach also diese bei den am stärksten brechbaren schon vorüber wären, und bei ihnen also die der leichteren Zurückstrahlung zuerst einträten. Sind die Zwischenräume zu groſs, dann können entweder überhaupt keine Anwandlungen durch den Einfluſs der Körper mehr erzeugt werden, oder die der verschiedenen farbigen Strahlen fallen so sehr mit einander zusammen, daſs bloſs weiſses Licht vorhanden ist, eben wie zu dicke Gypsblättchen im polarisirten Lichtstrahle keine Farben mehr zeigen. Daſs sich endlich die natürlichen Farben der Körper auf diese Anwandlungen zurückführen lassen, indem man annimmt,

des leichteren Durchganges diesen allerdings auch im Spiegel bewirken könnte, obgleich ferner nach meinen Versuchen die auf einem Metallspiegel entstehenden Farben weniger lebhaft sind, und das Schwarz viel weniger dunkel ist, so verdienen doch seine Versuche sehr geschätzt und seine Einwürfe beachtet zu werden. Nach Herschel entstehen die farbigen Kreise vielmehr durch die Beugung des Lichtes [1], nach Parrot [2]) durch die Erwärmung, welche die Körper vom Lichte selbst erhalten, eine dadurch erzeugte ungleiche Dichtigkeit und die hieraus folgende Farbenzerstreuung; eine sinnreiche und auf interessante Versuche gestützte Hypothese, welche Brandes mit gleichfalls triftigen Gründen bestritten hat [3]. Alle diese und verwandte Untersuchungen sind indefs im gegenwärtigen Augenblicke von geringerem Interesse, weil es sich erst um die Hauptfrage handelt, ob die Emanationstheorie oder die Undulationshypothese den Vorzug verdient, indem hiervon dann die Erklärungen der einzelnen Phänomene abhängen werden.

Newton's Hypothese von den Anwandlungen mufste bei der Entdeckung der Lichtpolarisations-Phänomene nothwendig zur näheren Untersuchung kommen. Dieses geschah hauptsächlich durch Biot, welcher die ganze Theorie in ihrer möglichsten Vollendung ausgearbeitet höchst lichtvoll darstellte, so dafs sie schwerlich noch irgend eine Verbesserung erhalten kann, und diese Bearbeitung wird, auch wenn dieselbe als unhaltbar verworfen werden sollte, allezeit als ein vorzügliches Werk des Scharfsinnes bleibend von grofsem Werthe seyn. Biot erweiterte die Theorie durch die Hypothese von den Oscillationen der Lichttheilchen. Hiernach haben die Elemente des Lichtes eine gleichmäfsige Rotation um ihren Schwerpunct, zugleich aber wirkt der eine Pol ihrer Rotationsaxe attractiv, der andere repulsiv auf die Oberflächen der verschiedenen Körper und die sie bildenden einzelnen Lagen. Auch die Hauptkrystallisationsaxen der verschiedenen krystallisirten Körper üben hiernach eine anziehende oder zurückstofsende Wirkung gegen die Axen der Lichtkügelchen und ihre Pole aus.

Wird diese Hypothese mit der eben erörterten von den

---

1) S. Phil. Trans. 1807. p. 180. 1809. p. 259. 1810. p. 149. Gilb. Ann. XLVI. 22.

2) Theor. Phys. II. 21 ff.

3) Gilb. Ann. XLVII. 209. LI. 211. LIV. 317.

Anwandlungen der leichteren Zurückstrahlung und des leichteren Durchganges in Verbindung gebracht, so mufs angenommen werden, dafs die Durchlassung des Lichtes sowohl, als auch die Zurückstrahlung desselben durch die Intervalle dieser Anwandlungen, und die während eines Durchganges durch einen Zwischenraum oder eine körperliche Lage stattfindende völlige oder theilweise Umdrehung um diese Oscillationsaxe bedingt sey. Aus der bekannten Geschwindigkeit des Lichtes, und mit Rücksicht darauf, dafs diese für die farbigen Strahlen im Verhältnifs des Brechungssinus zum Sinus des Einfallswinkels gröfser wird, zugleich aber aus dem bekannten Mafse der Dicke dünner Lagen oder kleiner Räume, welche durch ihren Einflufs auf die Lichtstrahlen die §. 231 erwähnten Farbenkreise hervorbringen, berechnet Biot [1]) die Dauer einer oscillatorischen Schwingung im Gyps für die violetten Strahlen $T = \frac{1}{12945 R}$ Secunde, wenn T die Zeitdauer und R den mittleren Halbmesser der Erdbahn in Meters bezeichnet. Rechnet man lezteren zu 20 Mil. Meilen und die Meile nur zu 7600 Meter, so würde ein Lichttheilchen hiernach dennoch 152000 Mil. Obcillationen in einer Secunde machen, eine allerdings kaum fafsbar kurze Zeit. Es ist indefs die Zeit der Bewegung für die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen durch Räume von gleicher Dicke verschieden, und zwar den Sinussen des Brechungsverhältnisses umgekehrt proportional. Wird demnach für rothe Strahlen diese Zeit $= T'$ genannt, so ist $\frac{T}{T'} = 0{,}62892$.

Dringen die Lichtstrahlen in durchsichtige Körper bis zu einer gewissen Tiefe ein, so erhalten sie dadurch eine bestimmte Lage ihrer Axe, worauf die feste Polarisation (*polarisation fixe*) §. 126 beruhet. In dünnen Räumen und Blättern durchsichtiger Körper wird diese bestimmte Lage nicht hervorgebracht, die oscillatorische Bewegung wird zwar modificirt, dauert aber fort, weil eine in Winkeln von 45° wechselnde Anziehung der Axen und Pole der Lichttheilchen durch die in verschiedener Richtung zu ihnen befindlichen Axen der krystallisirten Körper stattfindet, und hieraus entsteht die wechselnde oder bewegliche Polarisation (*polarisation mobile*) §. 127.

---

[1]) S. Traité T. IV. p. 245, p. 400 und p. 516.

Man übersieht bald, dafs die Hypothese allerdings zur Ergänzung der Newtonschen dient, und auf einzelne Phänomene mit Grunde angewandt werden kann, ob sie aber zur Erklärung der gesammten, bisher als höchst schwierig erkannten, optischen Phänomene ausreicht, dieses erscheint gewifs noch als sehr problematisch [1].

Die *Undulationstheorie* bedarf gleichfalls einer Hülfshypothese, allein einer solchen, welche bei weitem weniger willkührlich, mehr aus der Natur der Sache entnommen ist und aufserdem bei andern verwandten Phänomenen in Anwendung kommt. L. Euler [2], welcher blofs die prismatischen Farben zu erklären hatte, leitete diese von den ungleich schnellen Schwingungen des Lichtäthers ab, indem diese auf gleiche Weise als die Schwingungen der Luft in ungleich langen Röhren verschieden seyn sollten, welche Hypothese indefs zur Erklärung aller Phänomene nicht genügt Ungleich mehr leistet die Hypothese der Interferenzen, welche Thom. Young [3] zuerst aufstellte, Fresnel und Arago [4] weiter ausbildeten, Fraunhofer bedeutend erweiterte und mit seinen zahlreichen Entdeckungen der Inflexionserscheinungen, Poisson [5] aber mit seiner Theorie der Wellen in Verbindung brachte. Die Hauptsache dieser sinnreichen Theorie läfst sich in Folgendem kurz zusammenfassen.

Wenn man sich in irgend einer Flüssigkeit die aufeinander folgenden Wellen vorstellt, und annimmt, dafs zwischen dieselben andere so fallen, dafs die Erhabenheiten von jenen in die Vertiefungen von diesen treffen, so mufs nothwendig eine Ausgleichung, eine Aufhebung (engl. *Interference*, Einmischung, widerstreitendes Zusammentreffen) erfolgen, auf der andern Seite aber auch eine Verstärkung, wenn die Erhabenheiten zusammentreffen. Die Richtigkeit dieser theoretischen Ansicht läfst sich an Wasserwellen [6], zugleich aber auch an den Schallwellen durch einen schon oben §. 64 erwähnten Versuch anschaulich

---

1 Vergl. La Place Mémoire sur les mouvements de la lumière dans les milieux diaphanes; in Mém. de l'Inst. X. p. 300.

2) Mém. de l'Acad. de Berlin. 1752.

3) Phil. Trans. 1803. Lectures on Nat. Phil. II. p. 637 ff.

4) Am vollständigsten findet man beider Untersuchen zusammengestellt in Thomson's Chemie franz. Ueb. Suppl. p. 70 ff.

5) Ann. Chim. et Phys. XXII. 337.

6) S. Weber Wellenlehre p. 225.

machen. Vieth [1]) und Hällström [2]) hatten nämlich schon beobachtet, dafs eine gegen das Ohr gehaltene Stimmgabel in gewissen Richtungen nicht zu tönen scheint, W. Weber [3]) aber führte dieses Phänomen auf die Gesetze der Wellenbewegung zurück. Wird nämlich der Versuch mit der tönenden Stimmgabel so angestellt, wie oben §. 64. erzählt ist, dafs man dieselbe nach Chladni's Angabe über ein mit ihrem Tone gleichgestimmtes Glas hält, so geräth die in lezterem enthaltene Luftsäule gleichfalls in schwingende Bewegungen, wodurch schon an sich und zugleich auch durch das Zusammenfallen der gleichartigen Wellen die Stärke des Tones vermehrt wird. Diese Verstärkung findet aber blofs dann statt, wenn die Scheibe ab Fig. 162] oder cb sich in lothrechter Richtung über der Oeffnung des Glases oder gegen das Ohr befindet, dagegen verschwindet der Schall ganz, wenn die Richtung zwischen diese beiden Flächen, also ohngefähr in die Linie db oder ac fällt. Da die Fortpflanzung des Schalles in diesem Falle entschieden durch Wellen in der Luft geschieht, welche sich nach der Analogie der Wellen in tropfbaren Flüssigkeiten im ganzen Umfange um den sie erzeugenden Körper verbreiten müssen, so ist das Verschwinden des Schalles in der angegebenen Richtung auf keine andere Weise zu erklären, als aus einer Aufhebung der Wellen, oder aus den Interferenzen, deren Entstehen mir auf folgenden Bedingungen zu beruhen scheint [4]).

Wenn man die Stimmgabel durch Anschlagen zum Tönen bringt, und berührt sie leise an der Seite ab und an der anderen ad oder bc mit der Spitze eines feinen Federmessers oder einer Nadelspitze, so nimmt man wahr, dafs die Zinke sowohl nach der einen, als auch nach der andern Richtung schwingt. Die Zinken der Stimmgabeln sind in der Regel nicht genau von quadratischem Querschnitte, sondern die eine Seite derselben ist breiter, und da habe ich bei drei Exemplaren gefunden, dafs die Schwingungen in der auf ab; bc und bd lothrechten Richtung zwar der Zahl nach gleich sind (wie der beim Anhalten der Spitze hörbare

[1]) Gilb. Ann. XVII. p. 117.

[2]) Ebend. XXV. 90 u. 98.

[3]) Schweigg. Journ. XLVIII. p. 385.

[4]) Die Erklärung, welche W. Weber aufgestellt hat, weicht von dieser etwas ab, indefs scheinen die von mir angegebenen Erfahrungen der meinigen günstiger zu seyn.

Ton ergiebt), an Länge aber verschieden, und zwar sind sie an der breitesten Seite am längsten, d.h. die Zinke durchläuft in dieser Richtung die weitesten Räume. Hieraus folgt der Erfahrung gemäfs, dafs die Interferenzenlinie einem auf die Mitte von bc oder ad gefällten Perpendikel so viel näher rücken mufs, je schmaler beide im Verhältnifs zu ab sind. Dafs die Schwingungen der Zinke nach beiden Richtungen, sowohl in einer auf ab als auch auf bc lothrechten stattfinden, dieses folgt aus dem angegebenen Versuche mit Gewifsheit, es geht indefs auch daraus hervor, dafs nach Weber's Erfahrung ein vierkantiger Metallstab von quadratischem Queerschnitte, wenn er freischwebend durch Anschlagen zum Tönen gebracht wird, nach allen vier Seiten tönend und mit vier Interferenzlinien erscheint. Dafs die Schwingungen nach der einen und nach der andern Seite genau gleichzeitig seyn sollten, ist nicht zu erwarten, vielmehr ist es wahrscheinlich, dafs beide abwechseln, allein darüber läfst sich nichts mit Gewifsheit ausmachen. Es erleichtert übrigens die Erklärung der Interferenzlinien, wenn ein Wechsel dieser Schwingungen angenommen wird; auf welche Weise aber diese durch das Zusammenfallen der Wellen in der durch die Erfahrung gegebenen Richtung entstehen müssen, ergiebt schon der blofse Anblick der Figur, in welcher die Interferenzlinie bβ gezeichnet ist.

Denkt man sich einen eigenthümlichen Lichtäther sowohl im leeren Raume befindlich, als auch die wägbaren Körper durchdringend, und wird ferner angenommen, dafs die im Lichtäther entstehenden Wellen, eben wie die Schallwellen in der Luft, die festen Körper gleichfalls in Undulationen versetzen, und dafs durch die hiernach erzeugten Schwingungen neue Wellen im Lichtäther entstehen, so lassen sich von dieser Hypothese fruchtbare Anwendungen zur Erklärung verschiedener optischer Erscheinungen machen, welche nach der Emanationshypothese auf keine Weise genügend erklärt werden können. Zu den hauptsächlichsten gehören die oben §. 123 beschriebenen Phänomene der Inflexion oder Beugung des Lichtes.

Wenn die Lichtwellen durch eine schmale Oeffnung fallen, oder an den Rand irgend eines Körpers anstofsen, so müssen sie theils an sich hier zurückgestofsen werden, theils entstehen durch die Erschütterungen des festen Körpers neue Wellen, welche nicht genau mit den ursprünglichen
Fig. 163] zusammenfallen können. Es sey a der angestofsene Punct des festen Körpers, cb die Richtung der gerade fort-

gehenden Lichtwellen, ab die Richtung derjenigen, welche durch den Inpuls des Punctes a erzeugt sind, so treffen beide in b zusammen. Ist dann ab genau um eine halbe Wellenbreite (oder Wellenlänge, wie man gewöhnlich zu sagen pflegt, ohne daſs aus dem Ausdrucke ein Miſsverständniſs erwachsen kann, da allezeit beim Messen nur von dem Raume zwischen zwei Erhabenheiten oder Wellenhöhen die Rede seyn kann) kürzer als cb, so treffen die Erhabenheiten und Vertiefungen beider Wellen zusammen, es erfolgt eine Interferenz, und das Licht verschwindet, der Punct b ist also dunkel. Die Lichtwellen gehen indeſs auch in der Richtung ed und ad, treffen hier gleichfalls zusammen, und da der Voraussetzung nach ad um eine ganze Wellenbreite länger ist, als ed, so entsteht hier die zweite Interferenz, durch welche die Stärke des Lichtes vermehrt wird. Auf die nämliche Weise aber, wie Lichtwellen vom Puncte a abwärts in die gerade fortgehenden gesandt werden, müssen auch andere ihre Richtung nach der entgegengesetzten Seite in den Schatten des dunkeln Körpers af nehmen, und wenn mit diesen die durch den Punct f erzeugten zusammenkommen, so erfolgen Interferenzen von beiden. Hieraus entstehen die Lichtstreifen im Schatten des schmalen dunkelen Körpers, welche nach Flaugergues an beiden Seiten verschwinden, wenn an die eine Seite, z. B. an f, ein Schirm gehalten wird[1].

Fresnel hat die Entstehung der hellen und dunkeln Streifen aus den Interferenzen graphisch dargestellt. Ist S Fig. 164] ein leuchtender Punct, ab der Durchschnitt des schattengebenden Körpers, so müſste es in der Richtung Sc dunkel seyn. Die Wellen, welche von S ausgehend als kreisförmig verbreitet gedacht werden, mögen diejenige Breite haben, welche durch den Zwischenraum zwischen zwei ausgezogenen Linien angedeutet ist, und also bezeichnen die punctirten Linien die Hälfte dieses Zwischenraumes. Diejenigen Wellen, welche durch die gestoſsenen Puncte a und b entstehen, und auf gleiche Weise bezeichnet sind, können schon der Natur der Sache nach nicht mit ihnen genau zusammenfallen, weil sonst gar keine Modification derselben durch den festen Körper erzeugt würde, wie jedoch nach den Erscheinungen der Lichtbrechung allerdings statt-

[1]) Arago hat diese Beobachtungen erweitert, indem er dünnere und dickere Glasscheiben statt der undurchsichtigen Schirme anwandte. S. Ann. Chim. et Phys. I. 190.

ihr Abstand verschwindend klein ist, weil für die Kürze der Lichtwellen nach der oben gegebenen Bestimmung der hundertste Theil einer Linie schon eine bedeutende Gröfse ist. Endlich aber wird erfordert, dafs der Punct a, von welchem der Lichtstrahl ausgeht, einem mathematischen Puncte so nahe als möglich gebracht werde, weil sonst viele Lichtstrahlen von demselben auf die Spiegel fallen, und von diesen reflectirt werden, deren Interferenzpuncte sehr nahe neben einander liegen, und sich wechselseitig zerstören. Dafs übrigens die Erscheinung von den Interferenzen der Lichtwellen abzuleiten sey, und diesemnach nur aus der Undulationstheorie erklärt werden könne, bewies Fresnel dadurch, dafs er den einen Spiegel mit einem Schirme bedeckte, und dadurch die dunkelen Stellen verschwinden machte. Arago zeigte durch einen ähnlichen sehr sinnreichen Versuch, als schon Thom. Young [1]) angedeutet hatte, dafs bei dem angegebenen Verschwinden des von beiden Spiegeln reflectirten Lichtes durch Interferenzen der Lichtwellen auch die chemischen Wirkungen desselben aufhören. Er liefs die von dunkelen Streifen unterbrochenen Lichtstrahlen auf frisch bereitetes Hornsilber fallen, und fand, dafs da, wo das Licht fehlte, dieses nicht geschwärzt war, und zwar wechselten die geschwärzten und die nicht geschwärzten Stellen nach der nämlichen Reihenfolge, als die dunkeln und hellen Newtonschen Farbenkreise, so dafs, wenn man den Unterschied der durchlaufenen Wege durch d bezeichnet, die chemischen Wirkungen beim 1; 3; 5; 7.... fachen d aufhören, dagegen beim 2; 4; 6; 8 . . . . fachen d am stärksten sind. Auch in diesem Falle hörte die Unterbrechung der Schwärzung auf, wenn der eine Spiegel durch einen Schirm bedeckt wurde. Die Emanationstheorie vermag indefs keinen Grund anzugeben, warum Licht von einem Spiegel reflectirt das von einem andern Spiegel reflectirte zerstören sollte.

Sehr genügend, und ohne eine neue Hülfshypothese lassen sich aus der Annahme der Interferenzen auch die Newtonschen Farbenkreise erklären. Es sey demnach ab Fig. 166] eine auf die Glasscheibe cd gelegte planconvexe Linse von langem Halbmesser; in o befinde sich das beobachtende Auge, und aus diesem Puncte falle auch Licht auf die Linse, durch diese und den Raum mn, bis zur Fläche n des unteren Glases. Zu gröfserer Leichtigkeit der De-

---

[1]) Lectures T. II. p. 647.

monstration werde dieses Licht vorläufig als homogenes angenommen. Das auf die angegebene Weise auffallende Licht wird wieder reflectirt werden, und zwar von der Oberfläche der Glaslinse ab, von der unteren Fläche derselben m und von der Glasplatte n. Aus den Gesetzen der Brechung des Lichtes folgt in Gemäfsheit der Undulationstheorie, dafs die von der unteren Fläche des Glases in die Masse des lezteren zurückgeworfenen Lichtwellen denen entgegengesetzt sind, welche von der Oberfläche des Glases in Luft zurückgeworfen werden. Wenn also beide Flächen mit einander in völliger Berührung oder in unmefsbar kleinem Abstande sind, so müssen von beiden sich berührenden Flächen ausgehenden Wellen einander gleich, aber entgegengesetzt seyn, sich folglich einander aufheben, und es erscheint daher ein dunkler Fleck. Beträgt der Raum zwischen m und n den vierten Theil einer Wellenlänge, so ist der Weg, welchen die von n reflectirte Welle auf dem Hin- und Hergange zu durchlaufen hat, um eine halbe Wellenlänge gröfser, und da beide einander entgegengesetzt sind, so werden hiernach die Verdünnungen und Verdichtungen der von m zurückkehrenden Wellen mit den Verdünnungen und Verdichtungen der von n zurückkehrenden zusammentreffen, beide sich also zur Verstärkung interferiren, und das Auge in o wird daher helles Licht erblicken. Beträgt dagegen der Zwischenraum mn eine halbe Wellenlänge, so durchlaufen die von n reflectirten Wellen einen um eine ganze Wellenlänge gröfseren Raum, und da sie einander entgegengesetzt sind, so fallen hiernach beider Verdünnungen und Verdichtungen zusammen, zerstören einander, und es entsteht also ein dunkler Kreis um den so eben angegebenen hellen. Indem aber bei allmälig wachsendem Zwischenraume die Wellenlängen gleichfalls um $\frac{1}{4}$tel, $\frac{1}{2}$ u. s. w. wachsen, müssen die wechselnden dunkeln und hellen Kreise in derjenigen Reihenfolge entstehen, wie die Erfahrung sie angiebt. Ist das auffallende und reflectirte Licht weifs, so mufs das Schwarz in der Mitte gleichfalls vorhanden und dieses durch einen hellen Kreis umgeben seyn; von da an aber fallen die dunkeln und hellen Kreise farbig übereinander, weil die violetten Wellen die kürzesten, die rothen die längsten sind. Es müssen also zuerst violette Kreise, dann grüne und zulezt rothe entstehen, u. z. in derjenigen Reihenfolge, welche die Erfahrung angiebt.

Man sieht hieraus, wie viel leichter und consequenter

die Undulationshypothese einen grofsen Theil der optischen Phänomene erklärt, und so manchen Einwürfen weit besser begegnet, als die Emanationshypothese, allein dennoch hat sie die ganze Aufgabe noch keineswegs befriedigend gelöset. Um dieses nur an einem einfachen Beispiele zu zeigen möge hierzu die Erzeugung der prismatischen Farben dienen. Es ist allerdings richtig, dafs die violetten Lichtwellen die kürzesten sind, und so liefse sich leicht annehmen, dafs nach der Analogie mit den Tönen diese den eigenthümlichen Eindruck des Violett's auf den Sehnerv erzeugen. Man könnte dann weiter ungezwungen argumentiren, dafs die gleichartigen Lichtwellen des weifsen Lichtes beim Durchgange durchs Prisma in solche von ungleichen Längen zerlegt würden, und dafs hierauf die Erzeugung der prismatischen Farben beruhe; die gefärbten Körper würden hiernach eine gleiche Wirkung auf die Lichtwellen hervorbringen, nämlich dafs sie dieselben verkürzten, um Violett zu erzeugen, oder verlängerten, wenn sie die rothe Farbe zeigen. Dieser Hypothese steht indefs, aufser den eigenthümlichen chemischen Wirkungen der violetten und den erwärmenden der rothen Strahlen hauptsächlich entgegen, dafs erst nachgewiesen werden müfste, warum die Körper nicht die auf sie fallenden Wellen verlängern oder verkürzen, und auf diese Weise ihre Farbe abändern, kurz warum die Wellen von einer gewissen Länge, welche also einer eigenthümlichen Farbe zugehören, ihre eigenthümliche Länge und die hierdurch bedingte Farbenerzeugung auch beim Durchgange durch andere Körper unabänderlich beibehalten. Diese und ähnliche Schwierigkeiten müssen künftig erst näher untersucht, und der Hypothese gemäfs beseitigt werden.

12) Anwendungen auf optische Werkzeuge.

1) Der optische Kasten.

§. 137.

Fällt das Licht von einem horizontal liegenden Bilde gegen einen ebenen Spiegel, welcher um 45° gegen den Horizont geneigt ist, so scheint das Bild aufrecht hinter dem Spiegel zu stehen §. 107. Wird dasselbe dann durch eine convexe Linse weiter entfernt

und zugleich vergrößert, §. 119., so giebt dieses eine sehr bekannte optische Täuschung, welche man auch ohne Spiegel einfach zu erreichen vermag, wenn man die Bilder bloſs in den Brennpunct einer biconvexen Linse bringt, und das dadurch entstandene entferntere Bild betrachtet. Der Apparat, welcher meistens in einem Kasten befindlich ist, um das anderweitige Licht abzuhalten, und die Bilder stärker zu beleuchten, wird hiernach der optische oder Perspectiv-Kasten, auch Guck-Kasten genannt.

Die angegebene allgemeine Einrichtung der optischen Kasten erleidet unwesentliche Abänderungen durch die Art der Beleuchtung, Güte des Spiegels, Reinheit und Brennweite der Linse, Schönheit und richtige Projection der Bilder nebst der Klarheit ihrer Farben u. s. w.[1]).

b) Camera obscura und clara.

§. 138.

Die Erzeugung der Bilder durch das Einfallen des Lichtes in ein dunkeles Zimmer wurde in der Mitte des 16ten Jahrhunderts durch J. Baptista Porta in Neapel entdeckt und zu allerhand Belustigungen benutzt. Späterhin nahm man statt der Zimmer nur dunkele Kasten, und vereinigte die einfallenden Lichtstrahlen mehr durch eine biconvexe Linse. Meistens läſst man die Bilder zum bequemen Zeichnen durch einen Spiegel auf das untergelegte Papier reflectirt werden, Reinthaler aber machte die Veränderung, daſs das Bild nach oben auf eine mattgeschliffene Glastafel fällt, und nannte dieses camera clara.

Die einfachste, von J. B. Porta erfundene camera obscura ist die optische, im eigentlichen Sinne eine dunkle Kammer[2]). Fällt das Licht von dem Objecte AB durch

[1]) S. Musschenbroek Int. II. 1989.

[2]) S. J. B. Portae magia naturalis, sive de miraculis rerum nat. Amst. 1664.

Fig. 167] die Oeffnung o in das dunkle Zimmer, so mufs es auf der weifsen Wand das umgekehrte Bild ab erzeugen, welches in den eigenthümlichen Farben des Objectes erscheint, und durch seine Beweglichkeit bei der Bewegung der Objecte einen interessanten Anblick gewährt.
Fig. 168] Die umgekehrten Bilder lassen sich durch ein Prisma wieder gerade machen, welches indefs von dickem Glase gemacht seyn mufs, und daher nicht leicht in gehöriger Reinheit zu erhalten ist, jedoch liefse es sich aus Glaswänden mit darin enthaltenen Flüssigkeiten darstellen. Um die Lichtstrahlen mehr zusammenzuhalten wird in o ein Collectivglas angebracht, und die optische *camera obscura* dadurch zur dioptrischen.

Die eigentlichen dunkelen Zimmer findet man wenig, dagegen häufig blofse dunkele Kasten (camera obscura portabilis), bei denen man aber einen Spiegel ab anbringt,
Fig. 169] welcher 45° gegen den Horizont geneigt ist, und daher die Bilder der gespiegelten Gegenstände durch die verschiebbare Linse o auf das über der Bodenfläche cd des dunkelen Kastens ausgebreitete Papier wirft. Reintha-
Fig. 170] ler setzte den Spiegel ab hinter die Linse, und liefs das hiervon reflectirte Bild auf die mattgeschliffene Glastafel cd fallen, welche in den Schatten des Deckels gfn gebracht wird, damit das verminderte Licht der gespiegelten Bilder mehr hervorsticht, und deutlicher wahrgenommen wird. Ueber dieser Glasscheibe kann man durchsichtiges Papier (sogenanntes Strohpapier) anbringen, und die durchscheinenden Figuren unmittelbar darauf abzeichnen. Sie heifst dann *camera clara*, noch eigentlicher aber erhält sie diesen Namen, wenn statt der Glasscheibe eine biconvexe Linse angebracht, und das Bild hierdurch betrachtet wird. In diesem Falle gleicht sie einem astronomischen Fernrohre, welches durch einen Spiegel unterbrochen ist. Le Chevallier ersetzte Spiegel und Linse durch Newton's re-
Fig. 171] flectirendes Prisma §. 117. Befindet sich ein solches abc, bei welchem die eine Fläche ab convex geschliffen ist, um die Vergröfserung des Bildes und die Concentrirung der Lichtstrahlen nach Art der convexen Linsen hervorzubringen, gehörig gefafst über einem dunkelen Kasten, so werden die von der Fläche ac zurückgeworfenen Lichtstrahlen in der durch die Convexität von ab gegebenen Brennweite zum Bilde mn vereinigt. Ist das Prisma von hellem Glase, so werden bekanntlich alle Lichtstrahlen ohne Verlust von ac reflectirt, man erhält sehr scharfe Bilder, und kann den

Apparat besser zum Zeichnen der Landschaften benutzen, als den hinten geschwärzten oder aus schwarzem Glase verfertigten convexen Spiegel der Maler § 112.

Besteht die *camera obscura* aus einem sehr geräumigen Kasten, oder einem eigentlichen dunkelen Zimmer, so kann man die Bilder der Menschen und sonstiger Gegenstände an sehr frequenten Orten vermittelst beweglicher Spiegel auffangen, und diese durch die Linse auf feine Gaze, geöltes Papier u. dgl. fallen lassen, welches ein sehr interessantes Schauspiel gewährt.

c) Camera lucida.

§. 139.

Wollaston benutzte das Newtonsche Prisma sehr sinnreich zu der nach ihm benannten *camera lucida*, welche sich durch ihre geringe Gröfse und die ausnehmende Klarheit der erzeugten Bilder vorzüglich empfiehlt. Weil sie zum Zeichnen nicht so bequem ist, als manche wünschen, so hat Amici verschiedene Vorschläge zu ihrer Verbesserung gethan.

Die neuerdings nach Wollaston benannte *camera lucida* ist einer der einfachsten und schönsten optischen Ap-
Fig. 172] parate. Sie besteht blofs aus dem Newtonschen Prisma abcd, welches auf eine zur Bequemlichkeit der Beobachtungen geeignete Weise gefafst, und vor der vorderen Fläche bc mit einem wenig concaven Glase versehen wird. Ueber ab wird ein geschwärztes Blech mit einer kleinen Oeffnung geschoben, damit nur die durch leztere fallenden Lichtstrahlen ins Auge bei o gelangen. Der Gang der Lichtstrahlen vom m nach β, von hier durch Reflexion nach α und dann durch abermalige Zurückstrahlung in das Auge bei o ist aus der Figur von selbst klar. Soll sie zum Zeichnen benutzt werden, so projicirt das Auge das in der Richtung oα gesehene Bild auf ein unten liegendes Blatt Papier und bringt es mit der neben a vorbei gesehenen Spitze des Bleistiftes zusammen, wobei ein bei d angebrachtes horizontal liegendes, etwas convexes, Glas behülflich ist, die Lichtstrahlen mehr zusammenzuhalten. Es gehört indefs einige Uebung dazu, wenn man die gesehenen Bilder auf diese Weise zeichnen will.

Eine hiervon verschiedene *camera lucida* hat Amici übereinstimmend mit einem früheren Vorschlage von Lüdicke[1]) angegeben, welche allerdings zum Zeichnen ungleich bequemer ist. Diese besteht im Wesentlichen aus Fig. 173] einem Metallspiegel ab, von welchem die in der Richtung mα auffallenden Lichtstrahlen gegen die Glasscheibe AB in β reflectirt werden, und von hier durch abermalige Reflexion von der vorderen Fläche dieser Scheibe in das Auge bei o gelangen. Indem das Auge das gegebene Bild in der Richtung oβ erblickt, projicirt es dasselbe zugleich durch die Glasscheibe auf das in f befindliche Papier, wo es gezeichnet werden kann. Hierbei wirkt das von der hinteren Fläche der Glasscheibe reflectirte Bild leicht nachtheilig, welches Lüdicke dadurch zu vermeiden suchte, dafs er die Glastafel sehr dünn nahm, Amici im Gegentheil durch eine etliche Linien dicke, bei welcher er die Stelle der hinteren Fläche matt schliff, von welcher das Bild reflectirt werden mufste. Lezterer hat den von ihm angegebenen Apparat später auf verschiedene Weise abzuändern vorgeschlagen [2]), namentlich indem er statt des Me- Fig. 174] tallspiegels das rechtwinkliche Prisma abc wählte, und dieses mit der Seite cb perpendiculär gegen die Glasscheibe AB richtete. Die Bahn des Lichtstrahls bezeichnet die Linie m$\alpha\beta$o, wonach das Auge in o den Gegenstand und zugleich die Spitze des Bleistiftes in f wahrnimmt. Um die übrigen Lichtstrahlen abzuhalten dient die Kupferplatte ca.

d) Das Auge.

§. 140.

Das feinste, künstlichste und vollendetste optische Werkzeug ist das Auge, welches bei allen warmblütigen Thieren bis auf unbedeutende Abänderungen gleich ist. Es besteht aus verschiedenen Häuten und Flüssigkeiten, ist durch mehrere Muskeln in der Augenhöhle beweglich, und gegen äufsere Verletzungen durch die Umgebung der Knochen möglichst gesichert.

Die Beschreibung des aus so vielen Theilen bestehenden, äufserst künstlich gebaueten Auges ist weitläuftig, und ge-

---

[1]) Gilb. Ann. XLII. 338.

[2]) S. Ann. Chim. et Phys. XXII. p. 137.

hört zunächst in das Gebiet der Anatomie; indeſs sind die Functionen desselben groſsentheils rein optisch, und es ist eine Aufgabe der Physik, diese zu bestimmen, wozu aber einige Kenntniſs seines Baues erforderlich wird. Einen verticalen Durchschnitt des Auges eines erwachsenen Mannes Fig. 175] in natürlicher Gröſse zeigt die Figur. Der fast kugelförmige Augapfel liegt in der conisch nach Innen sich verengenden Augenhöhle, welche mit Fett und Zellgewebe erfüllt ist, und da ersteres durch Krankheit u. s w. leicht verzehrt wird, so gehen dann die Augen tiefer zurück, wovon das sogenannte hohläugige Ansehen herrührt. Zur Bewegung des Auges dienen 6 Muskeln, 4 gerade und zwei schräge, welche sämmtlich aus den Knochen der Augenhöhle entspringen, und mit ihren Sehnen in der weiſsen Haut, bis zur cornea hin befestigt sind. Von den ersteren sind zwei bei n n sichtbar. Die Augenlieder, die Thränendrüsen, und die von den Rändern der Augenlieder nach Innen geschlagene und über einen Theil des Augapfels vorn verbreitete Bindehaut *(coniunctiva)*, welche bei einigen Vögeln, namentlich der Papageien sehr sichtbar ist, und durch Verletzung oder Entzündung leicht geröthet wird, gehören nicht unmittelbar zum Wesen des Auges als Sehwerkzeug.

Der Augapfel besteht aus Häuten und Flüssigkeiten. Zu den ersteren gehört die *tunica sclerotica* oder *alba*, die weiſse Haut, eine dicke harte, undurchsichtige, nur etwas wenig durchscheinende Haut, weswegen man bei Kindern das schwarze Pigment im Innern des Auges durchscheinen, und sie daher bläulich gefärbt sieht. Sie ist entweder fortgesetzt oder unmittelbar verbunden mit der *tunica cornea*, der Hornhaut, welche durchsichtig und dünn, aber hornartig und ausnehmend hart den vorderen etwas stärker gebogenen Theil des Auges bildet. Concentrisch mit der weiſsen Haut und in dieser ausgespannt ist die *choroidea* oder *chorioidea*, die Gefäſshaut, Aderhaut, welche aus einem durch Zellgewebe verbundenen dichten Netze zarter Arterien und Venen besteht. Ihre innere Fläche ist mit einer schleimartigen schwarzen Substanz, dem *pigmentum nigrum* überzogen, welches, wie bei optischen Instrumenten, zur Abhaltung einer im Innern des Auges stattfindenden Reflexion des Lichtes dient, bei den Kakerlacken und einigen Thieren schon vor der Geburt fehlt, und dann überhaupt nicht erzeugt wird. Nach vorn reicht sie bis an einen, aus zartem und dichtem Zellgewebe bestehenden Ring, das Strahlen-

band, *ligamentum ciliare*, wodurch sie befestigt ist, aus welchem die strahlenförmigen Fortsätze, *processus ciliares*, auslaufen, und zusammen den Faltenkranz, *corpus ciliare* kk, bilden, dessen Bestimmung ist, die Linsenkapsel festzuhalten. Vor diesem ist die Regenbogenhaut, der Augenstern, *Iris* gg ausgebreitet, deren innere, gleichfalls mit dem schwarzen Pigmente überzogene glatte Seite Traubenhaut, *uvea*, heifst. In ihr befindet sich eine kreisrunde Oeffnung, die Sehe, *pupilla* h, welche bald gröfser bald kleiner ist, jenachdem die Iris sich zusammenzieht oder ausbreitet.

Eine der wesentlichsten Häute im Auge ist die Nervenhaut, Netzhaut, *retina* ee, welche über der Gefäfshaut ausgebreitet mit den Flüssigkeiten in unmittelbarer Berührung steht. Sie wird durch den Sehnerv bc gebildet, welcher bei c die sclerotica und chorioidea durchdringt und in die zahllosen Nervengeflechte der retina ausläuft, die sich als eine weiche, zarte und durscheinende, oder nach andern durchsichtige Haut, bis nahe an das Strahlenband erstreckt, und hier so befestigt ist, dafs sie losgelöset zusammenfallen würde. Der Augennerv läuft von hier ausgehend durch die Augenhöhle in die Knochen des Schädels, fällt mit dem des andern Auges zusammen, wobei eine völlige oder nur partielle Durchkreuzung stattfindet, und verliert sich endlich, der ihn einschliefsenden Haut beraubt, in die Masse des Gehirns. Ob beide Nerven sich wirklich ganz oder partiell durchkreuzen, ist viel untersucht, und für die Erklärung mancher Bedingungen des Sehens nicht gleichgültig, aber noch keineswegs völlig ausgemacht. Mitten durch den, mehr nach der Nase hin die Augenhäute durchbrechenden Nerv läuft die Central-Arterie des Auges, welche sich in zahlreichen Blutgefäfsen über die innere Fläche der Nervenhaut ausbreitet, und eine grofse Menge sehr feiner, keine Blutmasse, sondern nur Feuchtigkeit zuführender Gefäfse in das Innere des Auges sendet.

Das Auge enthält drei Feuchtigkeiten. Im vorderen Theile desselben befindet sich die wässerige Feuchtigkeit, *humor aqueus*, welche fast aus blofsem Wasser besteht, und daher das Licht nahe genau eben so bricht, als dieses. Sie wird durch die Iris in zwei ungleiche Theile getheilt, den vorderen und hinteren, deren Gröfse sich wie 2 zu 1 verhält, ist in der Jugend klarer als im Alter und wird zuweilen in zu grofser, aber auch wohl in zu geringer Menge abgesondert. Hinter ihr liegt die Krystalllinse i, mit der *krystal-*

lenen Feuchtigkeit, welche in ein zartes Häutchen eingeschlossen ist. Die Linse ist an der hinteren Seite in der Regel stärker gekrümmt als an der vorderen; die enthaltene Feuchtigkeit ist blofs in der Jugend völlig durchsichtig, trübt sich dagegen im Alter, ist in der Mitte von gröfserer Dichtigkeit als nach dem Rande hin, und erhärtet in Weingeist und durch Kochen zu Lamellen, ohne dafs solche im lebenden Zustande anzunehmen sind. Den ganzen übrigen Raum des Auges m füllt die Glasfeuchtigkeit, *humor vitreus*. Sie ist vollkommen durchsichtig und farblos, von einer eiweifsartigen Consistenz.

Sowohl das Gewicht des Auges und seiner Theile, als auch die Dimensionen der lezteren und ihre lichtbrechende Kraft hat man mit grofser Sorgfalt und vieler Mühe untersucht, woraus hervorgeht, dafs dasselbe nach Art der camera obscura ein verkehrtes Bild der gesehenen Gegenstände auf die retina wirft, wodurch also das Sehen bedingt ist [1].

§. 141.

Die Erzeugung der Bilder im Auge ist derjenigen sehr gleich, welche in der camera obscura statt findet. Vorzüglich wichtig ist hierbei die Wirkung der Krystalllinse, welche gröfstentheils den Zustand der Weitsichtigkeit oder Kurzsichtigkeit bedingt, oder, wenn sie ganz fehlt, durch die sogenannte Staarbrille ersetzt werden mufs.

Im Innern des Auges auf der retina wird nach den §. 119 angegebenen Gesetzen ein Bild erzeugt, wie sowohl theoretisch aus dem Baue des Auges und der darin stattfindenden Brechung des Lichtes folgt, als auch von Scheiner [2]) durch die Beobachtung nachgewiesen wurde, dafs man nach Wegnahme der hinteren Häute das Bild auf der Retina von aufsen sieht, und von Magendie [3]) an den Augen der weifsen Kaninchen und Kakerlacken, bei denen man das erzeugte

---

1) Genauere Beschreibungen enthalten S. T. Sömmerring Abbild. d. menschl. Auges. Fr. 1801. Magendie précis élémentaire de physiologie. T. I. S. 54. W. Sömmerring de ocul. hom. sect. horizont. Gött. 1818. fol. Wegen der weiteren sehr weitläuftigen Literatur mufs ich auf Gehler's Wörterbuch Art. Auge verweisen, wo dieselbe ziemlich vollständig mitgetheilt ist.

2) Oculus sive fundam. opticum. Lond. 1652. 4. p. 176.

3) Précis élém. de Phys. Par. 1816. u. 17. I. p. 59.

Bild ohne weitere Vorrichtung gleichfalls im hinteren Theile des Auges erblickt. Insofern also diese Erklärung der Functionen des Auges aus unmittelbarer Erfahrung hervorgeht, und auf den unumstöfslichen Gesetzen der Brechung des Lichtes beruhet, wenn man den Ort berechnet, wohin das Bild nach der Form und lichtbrechenden Kraft der das Auge bildenden Theile fallen mufs, so sollte man billig jede andere Hypothese hierüber sogleich zurückweisen [1]). Die Augen der Landthiere sind so eingerichtet, dafs die aus der Luft in dieselben fallenden Lichtstrahlen sich auf der Retina zum Bilde vereinigen, die der Fische brechen das Licht stärker, weil es aus Wasser auf dieselben fällt. Menschen können daher unter Wasser kein eigentliches Bild erhalten, folglich auch nicht sehen, jedoch kann ein Schein der Objecte durch das von ihnen reflectirte Licht erzeugt werden [2]).

Die bei dieser Erzeugung der Bilder unvermeidlichen Fehler, die Abweichung wegen der Kugelgestalt und Farbenzerstreuung werden aufgehoben, erstere dadurch, dafs die Pupille nur die nahe bei der Axe einfallenden Strahlen durchläfst, dafs die Retina dem Bilde keine geometrische Fläche darbietet, durch die eigenthümliche Krümmung der Linse und hauptsächlich durch die von der Mitte nach dem Rande hin abnehmende Dichtigkeit der krystallenen Feuchtigkeit, welche allein sie aufzuheben genügt [3]); die andere durch die Vereinigung der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen auf die Retina, die vorherrschende gröfsere Intensität des gelben Lichtes und verschiedene andere Bedingungen. Uebrigens ist das Auge keineswegs ganz achromatisch, wie namentlich Wollweide und Fraunhofer [4]) genügend nachgewiesen haben.

Aus der Wirkung der Linsengläser folgt, dafs eine gewisse Entfernung des Objectes zur Erzeugung des Bildes erforderlich ist. Beim Auge beträgt diese 8 bis 12 Zolle (im Mittel scheint mir 10 Zolle am richtigsten), und heifst *distantia visionis distinctae.* Das gesunde Auge hat aufserdem die Fähigkeit, entfernte und nahe Gegenstände deutlich zu sehen, welches nur durch eine bis jetzt nicht nach-

---

[1]) Die verschiedenen sonstigen hierüber aufgestellten Hypothesen zeugen blofs von der Unkunde der optischen Gesetze. Die Berechnungen finden sich in Hutton Dictionary I. p. 506. u. a. a. O.

[2]) S. meine Untersuchungen in Gilb. Ann. LXXVIII. p. 261

[3]) Mollweide in Gilb. Ann XXX. p. 220.

[4]) Ersterer a. a. O. Lezterer in Gilb. Ann. LVI. 301.

zuweisende, aus der dazu erforderlichen Anstrengung aber völlig erwiesene Veränderung im Auge geschehen kann [1]). Dafs das Auge diese Fertigkeit wirklich besitze, und zwar sich selbst für entfernte Gegenstände zu verändern, davon kann man sich überzeugen, wenn man einen dünnen weifsen Faden in der gehörigen Gesichtsweite mit einem Auge angestrengt beobachtet, in welchem Falle der Faden abwechselnd ein breiteres und undeutlicheres, mithin ein einem entfernteren Gegenstande zugehöriges Bild giebt. Die Fehler des Auges sind *Kurzsichtigkeit,* welche darin besteht, dafs wegen zu grofser Convexität des Auges oder blofs der Linse, oder deren zu weiten Abstand von der Retina das optische Bild vor die Netzhaut fällt, und dafs daher gar kein Bild auf derselben physiologisch erzeugt wird, oder nur ein undeutliches. Sie ist entweder angeborene Abnormität, oder entsteht durch Gewohnheit, d. h. durch anhaltende Beobachtung kleiner und naher Gegenstände. Der Fehler wird aufgehoben durch Uebung und compensirt durch Hohlgläser, welche das Bild entfernter Gegenstände nahe bringen. §. 119. Die Wirkung
Fig. 176.] der Hohlgläser oder *Lorgnettengläser,* welche man in diesem Falle anwendet, besteht darin, dafs die vom Puncte o des Objectes ausgehenden Lichtstrahlen, welche durch die Linse ll (und das ganze Auge) zu stark gebrochen werden, so dafs sie die Retina in rr nicht erreichen, durch das vorgehaltene concave Glas bb zerstreuet werden, so dafs ihr Brennpunct, welcher sonst in f′ fallen würde, hiernach in f auf die Retina rr fällt. Aus der Wirkung der Hohlgläser folgt ferner, dafs sie ein näheres Bild der Gegenstände geben, dieses also dahin bringen, wo das kurzsichtige Auge es verlangt, wobei sie zugleich verkleinern.
Fig. 177.] Ein anderer Fehler ist *Weitsichtigkeit,* wenn das Bild hinter die Retina fällt. Er ist vielleicht nie ursprünglich, noch durch Gewohnheit erzeugt, aufser bei denen, welche von früher Kindheit an bei der Verfertigung sehr feiner Arbeiten durch vergröfsernde Brillen sehen, sondern er entsteht durch zu grofse Abplattung des Auges, als Folge des Alters, weswegen niemand ohne besondere Ursachen

---

[1]) S. Pemberton de facultate oculorum ad diversas rerum conspectarum distantias se accommodandi. L. Bat. 1719. Reil, resp. Krüger de oculi mutationibus internis. Halae 1797. 8. J. Ware observations relative to the near and distant sight of different Persons. Phil. Trans. 1813. p. 131. Olbers de oculi mutationibus internis. Gött. 1780. 4. Treviranus Biologie VI. p. 521. Brewster in Edinb. Journal of Science. N. 1. p. 77 und viele andere Abhandl.

kurzsichtig. in der Regel dagegen mit zunehmendem Alter weitsichtiger wird. Bei einem solchen Auge werden also die von o ausgehenden Lichtstrahlen durch die Linse ll zu wenig gebrochen, ihr Brennpunct fällt daher in f hinter die Retina, und werden daher durch die convexe Linse bb oder das eigentliche *Brillenglas* mehr convergirend, damit ihr Brennpunct f die Retina in rr erreicht. Adams hat dieses durch eine mechanische Vorrichtung, sein *Kunstauge*, erläutert. Es besteht aus einer Kugel mit einer in ihrer Axe befindlichen horizontal liegenden Röhre, deren vordere Oeffnung mit einem biconvexen Linsenglase versehen ist, welche das erzeugte Bild auf eine in ihrem Brennpuncte befindliche mattgeschliffene Glasscheibe wirft. Zieht man die leztere zurück, so stellt der Apparat das kurzsichtige Auge dar, es kommt ein undeutliches Bild zum Vorschein, welches durch ein vorgehaltenes concaves Lorgnettenglas deutlich wird; schiebt man sie aber der Linse näher, so bildet der Apparat das weitsichtige Auge, das Bild wird undeutlich, erlangt aber die erforderliche Deutlichkeit durch ein convexes Brillenglas.

Da sich das Auge vor dem Brillenglase bewegt, folglich bald durch die Mitte, bald durch den Rand des lezteren gehende Strahlen in dasselbe gelangen, so erzeugt dieses eine Undeutlichkeit durch die Abweichung wegen der Kugelgestalt. Die durch Galland [1]) vorgeschlagenen Gläser mit Cylinderflächen helfen diesem Fehler nicht ab, wohl aber die durch Wollaston [2]) angegebenen *periskopischen* mit einer convexen und einer concaven Fläche.

Das Sehen durch Gläser und überhaupt durch optische Werkzeuge schmerzt wegen der Anstrengung, als Folge der Ungewohnheit. Die Brennweite der Brillen wird nach §. 119. gefunden. Nennt man sie f; so ist $f = \frac{d\delta}{d - \delta}$, wenn d die Entfernung, worin das abnorme Auge deutlich sieht, und δ die distantia visionis distinctae bezeichnet. Man darf daher einem geschickten Künstler bloſs die erste Gröſse angeben, um für das abnorme Auge das geeignete Brillenglas zu erhalten, obgleich die nach der Formel geschliffenen Gläser zu scharf werden. Nur ein abnormes, nicht ein schwaches Auge erhält Hülfe durch compensirende Gläser, mithin giebt es keine eigentliche *Conservationsbrillen*, in

---

[1]) Ann. of Phil. VII. 321.

[2]) Nicholson's Iourn. VII. p. 143.

dem Sinne, welchen die gewöhnlichen Händler dem Worte beilegen, und wenn man diesen Ausdruck für Brillen mit langen Brennweiten gebraucht, so ist er auch dann eigentlich nicht passend. Lesegläser und der Gebrauch eines einzelnen Glases für ein Auge sind aus leicht begreiflichen Gründen schädlich, auch verwirft Adams die grünen Brillen, jedoch aus dem unrichtigen Grunde, weil der bei ihrer Wegnahme erzeugte röthliche Schein eine Schwächung des Auges anzeigen soll, da er vielmehr die erzeugte subjective Farbe ist §. 135., und die mit Blendungen versehenen. Die besten Brillen sind die aus dem hellsten, die Farben am wenigsten zerstreuenden, Kronglase verfertigten, und am schönsten polirten [1]).

§. 142.

So gewifs wir auch die Erzeugung der Bilder auf der Retina wissen, so schwer ist es über die Art zu entscheiden, auf welche diese Bilder an sich und hinsichtlich der Farben empfunden werden. Selbst die Stärke des vorhandenen Lichtes kann durch unser Auge nur vermöge einer Vergleichung gemessen werden, und es ist eben so wenig ausgemacht, ob gar kein Licht verhanden ist, wenn das Auge keins wahrnimmt, als auch ob nicht andere Nerven, aufser dem des Gesichtes, durch den Lichtreitz afficirt werden können. S. §. 98.

Die Entscheidung der Frage über die Afficirung der Nerven des Auges und Fortpflanzung des Eindrucks zur Erzeugung einer Empfindung gehört in die Physiologie und Psychologie. Den Eindruck der Farben will Euler aus den verschiedenartigen Schwingungen des Lichtäthers erklären, andere führen ihn auf die chemischen Wirkungen des Lichtes zurück. Die erstere Erklärung ist weniger auf die Entstehung der jubjectiven Farben s. §. 135. anwendbar,

---

1) S. Adams Anweisung zur Erhaltung d. Gesichts übers. von Kries Gotha 1794. 8. Richter Anfangsgründe der Chirurgie III. p. 489. Sömmerring über einige wichtige Pflichten gegen die Augen. Frankf. 1803. Ware in Phil. Trans. 1813. I. Weniger gründlich ist: Anleitung zur Erhaltung des Gesichts bis ins späteste Alter u. s. w. von J. C. Winkler, Leipz. 1812.

auf die Stärke der Beleuchtung und die Gesichtsschärfe an. Für Messungen dieser Art sind die mehr und minder langen Minutenzeiger der Taschenuhren sehr geeignet, aus deren Länge und der Entfernung, von wo aus sie beobachtet werden, der in einer Sec. durchlaufene Bogen leicht berechnet werden kann. Bei G. G. Schmidt[1]) betrug der kleinste Winkel, wobei die Bewegung wahrgenommen wurde, 135 Sec., bei mir aber unter der Bedingung starker Beleuchtung nur 35 Sec.

Sehen wir ein Object, so schneiden sich die verlängerten Axen beider Augen in demselben, und eine durch diesen Vereinigungspunct gelegte senkrechte Ebene heifst *Horopter.* Indem aber das Object von beiden Augen zugleich in diesen nämlichen Durchschnittspunct gesetzt wird, mithin beide Bilder den nämlichen Ort einnehmen, und in jeder Beziehung identisch sind, so können wir nur ein Object wahrnehmen, obwohl in jedes Auge ein besonderes Bild fällt. Gegenstände, welche hinter oder vor dem Horopter liegen, müssen daher doppelt erscheinen, bis auf diejenige Entfernung, in welcher der Winkel der Augenaxen verschwindend klein wird. Zum Beweise dient der Versuch, wenn man in nicht grofser Entfernung vom Auge zwei schmale hinter einanderliegende Gegenstände abwechselnd betrachtet. Hieraus folgt schon, dafs man mit jedem Auge ein verschiedenes Bild wahrnimmt, aber man kann sich hiervon noch näher überzeugen, wenn man mit beiden Augen einen entfernten Gegenstand fixirt, und einen undurchsichtigen schnell vor einem Auge hin und her bewegt, oder abwechselnd ein Auge um das andere verschliefst. Dafs man den Gegenstand nur einfach und nicht verkehrt sieht, ist erlernt, und lezteres wegen der verhältnifsmäfsigen Lage der Objecte zu einander nothwendig. Die Axen abnormer Augen schneiden sich nicht im Objecte, daher das künstliche und natürliche Schielen und das Doppeltsehen [2]). Drückt man den einen Augapfel zur Seite, so entsteht ein zweites Bild, welches aber bald allmälig verschwindet. Das Doppeltsehen mit einem Auge ist Folge einer doppelten Pupille, oder wird erzeugt durch Facetten, welche sich auf der Hornhaut gebildet haben. Vom vierfachen Sehen existiren sehr seltene oder gar keine Beispiele [3]). Es giebt auch Fälle des

---

[1]) Hand- und Lehrbuch d. Naturlehre p. 471.

[2]) S. Vieth in Gilb. Ann. LVIII. 233.

[3]) Hufeland Journ. der prakt. Heilkunde. 1816. St. 4. p. 120.

Halbsehens, u. z. sowohl in der verticalen, als auch in der horizontalen Ebene, welche von partieller Unthätigkeit der Retina, oder des Sehnerv's in Folge von Zerstörungen oder krankhafter Unempfindlichkeit herrühren.

Die Entfernung naher Gegenstände wird durch den optischen Winkel, imgleichen durch den parallaktischen Winkel der Augenaxen gemessen, und die Bestimmung der Gröfse ist gleichfalls erlernt. Ueber Entfernung und Gröfse weit entlegener Gegenstände urtheilen wir aus dem Verhältnisse beider in Verbindung mit der Stärke ihrer Erleuchtung, mit einer gröfseren oder geringeren, gleichfalls durch Uebung erlangten Fertigkeit. Dieses geht unleugbar aus den Beobachtungen hervor, welche man an Blindgebohrnen und nachher Operirten gemacht hat[1]).

c) Fernrohr.

§. 144.

Die Fernrohre wurden am Ende des sechzehnten Jahrhunderts in Holland erfunden, und durch Galileo Galilei im Anfange des siebenzehnten allgemein bekannt. Man unterscheidet unter den älteren das Holländische oder Galileische, das Keplersche Sternrohr und das Erdrohr des Pater de Rheita.

Galilei ist nicht Erfinder zu nennen, weil nach der ersten Bekanntwerdung die möglichen Combinationen der damals bekannten Linsengläser leicht von ihm wiederholt werden konnten. Vielmehr ist erwiesen, dafs Zacharias Janssen sie um 1590 verfertigte, und die ersten an Moritz von den Niederlanden gab, welcher sie im Kriege gebrauchte, und daher die Erfindung geheim hielt. Vermuthlich ist aber dieser nicht der Erfinder, sondern die Idee dazu gab ihm der bekannte Geometer Adrian Anthonisse, welcher den Zunamen Metius (nicht Pierre Me-

---

[1]) S. Cheselden in phil. trans. XXXV. 447. und Lichtenb. Mag. IV. 21. Home in Phil. Trans. 1807. I. p. 83. Bibl. Brit. XXXVII. p. 85. Purkinje Beiträge zur Kenntnifs des Sehens. Prag. 1819. Ueber Augenmafs, Perspective, optische Täuschungen, z. B. der Sonne und des Mondes beim Auf- und Untergange, der Berge im Nebel u. s. w. vergl. Lambert in Hindenburgs Archiv der reinen u. angewandten Math. Hft. 9. u. a. a. O. Die Literatur findet man mit erforderlicher Vollständigkeit in Gehler's Wörterb. T. IV. p. 1364.

tius, wie ihn Montucla unrichtig nennt) erhielt [1]). Sie waren anfangs sehr hoch im Preise, allein sobald es bekannt wurde, dafs zwei Linsen vereinigt wären, war die Construction derselben leicht aufzufinden.

Das sogenannte Taschen-Perspectiv, auch Holländisches Fig. 178] und Galileisches Fernrohr genannt, besteht aus einer biconvexen Objectivlinse und einer concaven Ocularlinse, welche beide Gläser so vereinigt werden müssen, dafs ihre Brennpuncte zusammen fallen. Aus §. 119 folgt ferner, dafs ihre Vergröfserung dem Quotienten der Brennweite des Ocularglases in die des Objectivglases gleich ist. Empirisch kann dieselbe bestimmt werden, wenn man mit einem Auge durch dasselbe und mit dem andern frei den nämlichen Gegenstand betrachtet, und die Gröfse beider Bilder mit einander vergleicht. Für Kurzsichtige mufs sie geringer werden, so weit ihnen das Ocularglas zugleich als Lorgnette dient.

Das sogenannte Keplersche Sternrohr, welches im Wesentlichen noch jezt als astronomisches Fernrohr zu cölesti- Fig. 179] schen Beobachtungen gebraucht wird, besteht aus der biconvexen Objectivlinse LL und der Ocularlinse ll, welche auch schlechthin Objectiv und Ocular genannt werden. Man vereinigt sie so, dafs ihr Abstand der Summe beider Brennpuncte gleich ist, und hiernach ist aus der Figur klar, dafs ein solches Fernrohr ein vergröfsertes, aber verkehrtes Bild der gesehenen Gegenstände geben mufs. Gröfserer Einfachheit wegen kann man zur Versinnlichung annehmen, dafs das durch LL im Brennpuncte entstehende Bild $\alpha\alpha$ durch die Loupe ll in $\alpha'\alpha'$ gesehen wird. Daraus geht zugleich hervor, warum man bei entfernteren Gegenständen und für Kurzsichtige das Ocularglas dem Objectivglase mehr nähern mufs. Damit die Zusammenbeugung der Lichtstrahlen nicht zu stark geschehe, nimmt man meistens ein aus zwei Linsen bestehendes Ocular, welches indefs von dem Gebrauche doppelter Loupen nicht verschieden ist. Nachtfernrohre und Kometensucher bedürfen aufserdem vieles Licht, und leztere werden zugleich so eingerichtet, dafs sie ein grofses Feld übersehen lassen, um die Kometen desto leichter aufzufinden.

Um das Bild gerade zu sehen, schlug Kepler drei Oculare anzuwenden vor, der P. de Rheita aber gab

---

[1]) S. Journ. de Phys. XCIII. Th. II. p. 150. Reimer in Anmerk. zu Bossüt Gesch. d. Math. Th. II. p. 128.

ein verbessertes Erdrohr mit vier Ocularen an. Nach den Fig. 180] englischen Künstlern gebraucht man jezt allgemein solche Oculare, welche zugleich ein zusammengesetztes Mikroskop bilden Hiernach ist $\alpha\alpha$ das durch das Objectiv in seinem Brennpuncte erzeugte verkehrte Bild, welches schon durch die Linse ll wieder gerade dargestellt wird. Um dann aber die Lichtstrahlen wieder zu einem scharfen Bilde zu vereinigen dienen die beiden Linsen mm; nn, die lezte Linse pp aber ist zunächst für das Auge o eine Loupe, und die Blendung bb dient dazu, die seitwärts fallenden Strahlen abzuschneiden. Ein solches terrestrisches Ocular ist ungleich länger als ein cölestisches, kürzer als beide ist aber das Newtonsche Prisma, welches man daher auch hauptsächlich bei den Fernrohren der Meſswerkzeuge anbringt, wobei die Unannehmlichkeit, daſs man das Bild in einer auf die Axe des Fernrohrs perpendiculären Richtung sieht, weniger in Betrachtung kommt.

Beim Sternrohre verhält sich das Gesichtsfeld directe wie die Breite des Objectivs und verkehrt wie die Länge des Rohres, die Lichtstärke wie die Gröſse des Objectivs dividirt durch die Vergröſserung, diese leztere wie die Brennweite des Objectivs zur Brennweite des Oculars [1].

§. 145.

Alle diese älteren Fernrohre gaben sehr undeutliche Bilder als Folge der Abweichung wegen der Kugelgestalt §. 119. und der Farbenzerstreuung §. 120. Indem aber Newton richtig einsah, daſs der erstere Fehler viel leichter durch die parabolische Form der Hohlspiegel aufgehoben werden könne, lezterer aber bei diesen gar nicht statt finde, so veranlaſste er die Einführung der nach ihm benannten Spiegelteleskope. Sie sind später ungemein verbessert durch W. Herschel und schon früher in wenig veränderter Form durch Gregory und Cassegrain angegeben.

Die ersten Vorschlägen zu Spiegelteleskopen that Mersenne, und Newton im Jahr 1672 glaubte hierdurch die beiden Fehler dioptrischer Fernrohre aufheben zu kön-

---

[1]) Vergl. Littrow in Baumgartner u. v. Ettingshausen Zeitschrift für Physik und Mathem. IV. p. 195 und 501.

nen. Er wollte Glasspiegel nehmen, und statt des planen Fangspiegels ein reflectirendes Prisma. Schon früher im Jahr 1663 schlug J. Gregory vor, den grofsen Spiegel zu durchbohren, und das Bild in einem zweiten Hohlspiegel aufzufangen[1]). Cassegrain schlug einen convexen Fangspiegel vor, welcher das Werkzeug um die Hälfte kürzer macht. Hook realisirte 1674 die Angabe Gregory's und Hadley 1723 die Newtonsche[2]).

Unter den angegebenen Teleskopen bleibt das *Newtonsche* immer das beste, weil die nahe bei der Axe einfallenden Strahlen nicht wegfallen. Seine Construction wird Fig. 181] aus der Figur ohne weitere Erläuterung deutlich. Parabolische Spiegel hätten darin allerdings einen Vorzug, dafs durch sie die Abweichung wegen der Kugelgestalt ganz vermieden würde, allein bei der grofsen Genauigkeit der Gestalt, welche die Spiegelfläche haben mufs, und der Feinheit der Politur, welche sie erfordert, ist es kaum möglich, solche Spiegel zu verfertigen. Um die Abweichung wegen der Kugelgestalt zu vermeiden müssen Teleskope mit grofsen Spiegeln so ausnehmend lang seyn. Herschel's bekanntes Riesenteleskop hatte für einen Spiegel von 4 engl. F. Durchmesser eine Länge von 40 Fufs, und da der Brennpunct eines Spiegels in der Entfernung des halben Halbmessers der Kugel liegt, wovon derselbe ein Segment bildet §. 111., so hatte hiernach die Kugel, wozu der Spiegel gehörig zu betrachten ist, einen Durchmesser von 160 Fufs. Herschel und Schroeter haben den Fangspiegel weggenommen, und richten durch die schräge Lage des grofsen Spiegels die Strahlen des Bildes unmittelbar in das Auge des Beobachters, welches aber nur bei grofsen Instrumenten möglich ist. Weil man seitwärts in dasselbe sieht, so wird parallel mit der Axe des Rohres ein Sucher angebracht. Die Construction des *Gregory'schen* Fig. 182] Teleskops mit dem concaven Fangspiegel n n, welches übrigens, wie alle Reflectoren, gleichfalls ein umgekehrtes Bild giebt, ist eben wie das *Cassegrain'sche* mit Fig. 183] dem convexen Fangspiegel aus der blofsen Zeichnung klar. Der convexe Fangspiegel wurde auch deswegen gewählt, weil er die Abweichung wegen der Kugelgestalt, welche der grofse Spiegel erzeugt, zum Theil wieder aufhebt. Aus dieser Ursache, und weil er das Bild eher auf-

---

[1]) S. Optica promota. Oxon. 1663. 4.

[2]) S. Phil. Trans. N. 376. Abridgment of Phil. Trans. VI. I. 147.

fängt, als es zur Vollendung kommt, ist das Fernrohr um die Hälfte kürzer, als ein gleiches Gregorysches. Beide haben den Mangel, dafs der grofse Spiegel gerade in der Axe, wo die zur Erzeugung des schärfsten Bildes dienenden Strahlen reflectirt werden, durchbohrt ist, um die Gegenstände in der Richtung der verlängerten Axe des Instrumentes zu sehen. Es scheint mir sehr zweckmäfsig, mindestens bei gröfseren Apparaten, den Hauptspiegel nicht zu durchbohren, sondern etwas schräg zu richten, und den Fangspiegel nebst dem Oculare in einer besondern Röhre seitwärts anzubringen, wodurch noch aufserdem der Hauptspiegel durch den Fangspiegel keine Strahlen verliert. Diese Construction ist zwar nicht bekannt, indefs versichert Jam. Smith [1]) ein solches sehr brauchbares Instrument gesehen zu haben [2]).

§. 146.

Um die beiden angezeigten Fehler dioptrischer Fernröhre zu verbessern, verfertigte man ehemals Objective von unglaublich langen Brennweiten, wodurch zwar die Abweichung wegen der Kugelgestalt fast gänzlich, die Färbung der Bilder aber nur unbedeutend aufgehoben wurde, so dafs der Blendungen ungeachtet eine merkliche Undeutlichkeit der Bilder zurückblieb. Euler, Klingenstierna und Dollond folgerten aus der Farbenlosigkeit der Bilder im Auge, dafs die Vereinigung mehrerer brechender Substanzen die Farbenzerstreuung aufheben müsse, und der leztere brachte nach vielen Versuchen achromatische Objective zu Stande, welche von seinem Sohne ungemein verbessert wurden. Alle Künstler machten dieselben nachher em-

---

1) The Panorama of Science and Art. cet. Ninth edit. Lond. 1823. II. vol. 8. T. 1. p. 498.

2) Ueber Herschels grofses Teleskop, die beste Composition zu Spiegeln, das Centriren und die Geschichte der Erfindung S. u. a.. Beschreibung des 40füfsigen Teleskops von W. Herschel, übers. von Geisler, Leipz. 1799. Gren. neues J. III. 468. La Lande Astron. II. 635. Ueber die Verfertigung der Metallspiegel zu Teleskopen s. Mudge in phil. trans. LXVII. 1. Edwards in Gilb. Ann. XII. 167. Schroeter Beiträge zu den neuest. astron. Entdeckungen. Berlin 1788. 154 ff. Voigt Magaz. V. p. 72.

pirisch, bis in den neuesten Zeiten auch die theoretischen Untersuchungen genügende Resultate gaben. Durch aplanatische Gläser den nämlichen Zweck zu erreichen ist wegen des Einflusses der Temperatur auf die lichtbrechende Kraft der Flüssigkeiten nicht wohl ausführbar.

Die Undeutlichkeit der Bilder, welche durch die Abweichung wegen der Kugelgestalt entsteht, folgt aus demjenigen, was hierüber in §. 110 und 119 gesagt ist, von selbst, und gilt hiernach nicht blofs von katoptrischen, sondern auch auf gleiche Weise von dioptrischen Fernröhren. Ein noch wichtigerer Fehler, nämlich die Erzeugung hinter einander liegender farbiger Bilder, findet bei Spiegeln nicht statt, wohl aber bei Linsengläsern, und folgt aus dem, was über die Gestalt von diesen §. 118 und die Farbenbrechung der Lichtstrahlen §. 120 gesagt ist, ohne
Fig. 184] weitere Erläuterung unmittelbar. Eine biconvexe Linse mm wird nämlich die Lichtstrahlen nicht in einen einzigen Brennpunct vereinigen, sondern, da die farbigen Lichtstrahlen ungleich stark gebrochen werden, farbige Bilder erzeugen, von denen die blauen der Linse näher liegen müssen als die übrigen. Der Brennpunct der violetten Strahlen liegt nämlich der Linse näher als der rothen, in der Mitte liegt der der grünen. Zieht man um diesen mit dem Halbmesser, welcher der Entfernung bis zum Brennpuncte der violetten oder rothen Strahlen gleich ist, einen Kreis, so heifst dieser der *Zerstreuungskreis*. Sein Durchmesser ist $\alpha\beta$. Man nimmt die Farbenzerstreuung am besten wahr, wenn man eine biconvexe Linse mit einer durchlöcherten Decke bedeckt oder die vereinten Lichtstrahlen nahe am Brennpuncte im dunkeln Zimmer durch ein Löchelchen in einem Schirme fallen läfst und auf einer Tafel auffängt. Diesemnach ist nicht blofs das Sehen eines farbigen Bildes unangenehm, sondern das Bild selbst wird durch die vorhandenen, nicht im Brennpuncte vereinigten Strahlen undeutlich. Weil die gelben Strahlen das meiste Licht geben, und diesen die grünen am nächsten liegen, so betrachtet man bei chromatischen Fernrohren das zwischen Gelb und Grün liegende Bild, wobei aber schon nach dem Anblicke der Figur blaue Ränder sichtbar werden müssen. Rückt man das Ocular so nahe, dafs sein Brennpunct in den Brennpunct der blauen Strahlen des Objectivs fällt, so erhält das

Bild wegen der noch nicht vereinten rothen Strahlen rothe Ränder.

Man suchte ehemals diesen Chromatismus durch eine starke Blendung des Objectivs zu vermeiden, womit jedoch ein bedeutender Lichtverlust verbunden ist. Hauptsächlich aber suchte man sich durch lange Brennweiten zu helfen, wonach das Objectiv nur die verhältnifsmäfsig nahe bei der Axe auffallenden Strahlen durchläfst, weswegen 6, 8, ja 20 und 36 Fufs lange Fernrohre nicht ungewöhnlich waren. Wegen der Unbequemlichkeit so langer Rohre erfand man die sogenannten Luftperspective, welche aus einem an einer langen Stange befestigten, durch einen Draht stellbaren Objective, und einem in der Hand gehaltenen oder unten befestigten Oculare ohne Röhre bestanden. Auf solche Weise verfertigte man Objective von mehr als 100 Fufs Brennweite, deren Unbequemlichkeit aber leicht in die Augen fällt [1].

In genauerer Zahlenbestimmung die Sache dargestellt folgerte Newton aus seinen Versuchen, dafs die Sinusse der mittleren Brechung aus Luft in Glas und der äufsersten Grenzen der Farbenzerstreuung in den kleinsten Zahlen durch 50; 77 und 78 dargestellt werden können. Wenn hierbei die Sinusse den Winkeln selbst gleichgenommen werden, so folgt, dafs der Abstand der Brennweiten der äufsersten und innersten farbigen Strahlen $\frac{1}{27,5}$ der mittleren Brennweite beträgt. Diesemnach steht das violette und rothe Bild jedes $\frac{1}{55}$stel der Brennweite von dem mittleren grünen Bilde ab. Berechnet man die Abweichung wegen der Kugelgestalt nach der Newtonschen Formel $= \frac{n^2 s^3}{D^2}$, worin n das Brechungsverhältnifs $= \frac{2}{3}$, s den Halbmesser der Oeffnung des Objectivs, D den Durchmesser der Krümmung eines planconvexen Glases bezeichnet, so findet man, dafs jener Fehler diesen lezteren leicht zehn- und mehrfach übersteigt, weswegen jezt zehnfach kürzere Fernrohre die nämlichen Dienste als die älteren leisten.

Den Vorschlag, die Fehler der Objective durch Zusammensetzung derselben aus Glas und Wasser zu corrigiren, that Newton, und versuchte die Ausführung ohne Erfolg.

[1]) S. Hugenii Astroscopia compendiosa cet. Hag. 1684. 4.

Euler [1]) zeigte theoretisch die Ausführbarkeit desselben, allein John Dollond [2]) verwarf seine Ansichten, bis Klingenstierna [3]) ihn überzeugte, und eigene Versuche die Sache bestätigten, wobei Newton's Satz, daſs die Farbenzerstreuungen sich allezeit wie die Brechungen verhalten müſsten, falsch befunden wurde. Dollond versuchte dann aus dem stärker brechenden Kronglase und dem stärker zerstreuenden Flintglase achromatische Prismen mit entgegengesetzten brechenden Winkeln zu verfertigen, welches ihm gelang, worauf er selbst und vorzüglich sein Sohn Peter Dollond achromatische Objective aus zwei oder drei Gläsern verfertigte [4]). Auf welche Weise dieses geschehen könne, und nothwendig erfolgen müsse, über-
Fig. 185] sieht man bald. Es sey abc ein Prisma von Kronglas, $\alpha\beta\gamma$ eins von Flintglas. Wäre die Farbenzerstreuungskraft von beiden Glasarten gleich, so müſsten auch die Prismen gleich seyn, wenn das eine die Wirkung des andern aufheben sollte; ist sie aber ungleich, so muſs das eine einen kleineren Winkel haben als das andere, so daſs beide vereint allezeit noch die Form eines Prisma behalten. Lezteres ist bei den beiden genannten Glassorten der Fall. Fällt also ein von S ausgehender weiſser Lichtstrahl auf das Kronglasprisma abc, so wird er beim Ausfalle aus demselben in das Spectrum rv zerstreuet seyn. Lezteres fällt auf das Flintglasprisma $\alpha\gamma\beta$, und weil dieses die violetten Strahlen stärker bricht, als die rothen, so werden beide beim Austritte in w wieder vereinigt, und so ins Auge o als weiſses Licht gelangen. Es ist aber §. 118 gezeigt, auf welche Weise aus Prismen Linsen entstehen, und hiernach läſst sich also die Construction der achromatischen Linsen leicht abstrahiren. Die farbenzerstreuende Kraft des Kronglases und Flintglases verhält sich im Allgemeinen wie 33 : 58, und zwei Prismen aus beiden Glasarten mit entgegengesetzten Brechungswinkeln von 19° und 30° geben ein achromatisches Prisma von der Brechung eines einfachen Prisma von 11°. Zum völligen Achromatismus wäre jedoch erforderlich, daſs das Verhältniſs der stärkeren Farbenzerstreuung des Flintglases für alle farbige Strahlen dasselbe wäre, welches indeſs nicht der

---

1) S. Mém. de Berl. 1747.

2) S. phil. trans. L. part II. p. 733.

3) S. Schwed. Abh. d. Ueb. XVI. 300. dessen tentamina de definiendis et corrig. aberrationibus lum. cet. Petrop. 1762. 4.

4) S. Bode astron. Jahrb. für 1797. p. 158. und für 1800. p. 166.

Fall ist, und daher sind absolut achromatische Linsen unmöglich; man richtet sie indefs so ein, dafs die nicht compensirten Farben gegen die scharfen Bilder durch die vereinten unmerkbar werden, oder dafs die sehr wenig hellen secundären Bilder gegen das stark lichte Hauptbild verschwinden. Zugleich ist bei denselben auch dahin zu sehen, dafs durch die Krümmungen der Flächen der vereinten Linsen die Abweichung wegen der Kugelgestalt am vollständigsten aufgehoben wird.

Die englischen Künstler verfertigen die achromatischen Objective meistens aus drei Linsen, zwei äufseren biconvexen aus Kronglas, und einer inneren biconcaven aus Flintglas. Dafs sich hierbei die beiden gerügten Fehler am besten aufheben lassen, leidet keinen Zweifel, allein solche Objective haben wegen der vermehrten Zahl der Flächen leicht weniger Licht, und in dieser Hinsicht sind die aus zwei Linsen, einer biconvexen aus Kronglas und einer convex-concaven aus Flintglas vorzüglicher. Die besten achromatischen Objective aus zwei Linsen hat Fraunhofer geliefert. Wegen der nicht stets gleichen Brechungs- und Zerstreuungskraft der angewandten Glassorten werden dieselben als Prismen vorher versucht, und die erforderlichen Verhältnisse der verschiedenen Theile einer achromatischen Linse meistens durch Probiren gefunden [1]. Ein hierzu taugliches Werkzeug, dessen sich Cauchoix bedient, nebst theoretischen Untersuchungen zur Bestimmung des Achromatismus findet man in Biot's grofsem Werke [2]. Neuere Vorschläge zur Erreichung völlig farbenloser Objective sind unter andern von Boscovich [3], von Klügel [4], von v. Bohnenberger [5], von Gaufs [6], von Brewster [7], von Fraunhofer [8], von Herschel [9]) und von Littrow [10]. Die praktische Verfertigung grofser und guter achromatischer Linsen erfordert nicht blofs Uebung, sondern auch

---

1) S. Gilb. Ann. XXXIV. 258.
2) Traité. III. p. 477.
3) S. Comm. Soc. Bonon. V. I. p. 265.
4) S. Gilb. Ann. XXXIV. p. 265.
5) S. Zeitschrift für Astron. I. p. 282. u. 385.
6) Gilb. Ann. XLIX. 188.
7) Gilb. Ann. L. 301.
8) Münchener Denkschr. 1814. p. 193. Gilb. Ann. LVI. 264.
9) Phil. Trans. 1821. II. p. 222.
10) Baumgartner u. v. Ettingshausen Zeitschr. für Phys. u. Math. IV. 257.

theoretische Kenntnisse und die Anwendung einer Menge von Hülfsmitteln, welche vorzüglich Fraunhofer grofsentheils neu ersonnen hat. Die meisten der bisherigen Bestimmungen der Regeln, wonach achromatische Objective verfertigt werden müssen, obgleich an sich richtig, genügten keineswegs, um den Künstler in den Stand zu setzen, das Erforderliche hiernach zu leisten. Diesem Mangel ist indefs so eben abgeholfen durch J. J. Prechtl [1]), welcher neben gründlicher theoretischer Sachkenntnifs eine vollständige, bis auf die kleinsten Hülfsmittel sich erstreckende praktische Erfahrung verbindet.

Statt des Flintglases eine mit einer Flüssigkeit gefüllte Linse anzuwenden ist wiederholt, namentlich durch Blair [2]), in Vorschlag gebracht, allein Fraunhofer [3]) erklärte sich bestimmt dagegen, weil die Ausdehnung der Flüssigkeiten durch Temperatur zu grofs und selbst bei schnellem Wechsel in den verschiedenen Theilen der Linse ungleich ist. Dennoch hat man sie neuerdings in England nicht blofs empfohlen, sondern will auch in der Anwendung aufserordentliche Wirkungen durch dieselben erhalten haben, namentlich durch Verfertigung solcher, mit Schwefelkohlenstoff (Schwefelalkohol) gefüllter Linsen [4]). So gewichtig indefs auch die Autorität derjenigen Gelehrten ist, welche die erhaltenen, sehr genügenden, Resultate mitgetheilt haben, so steht doch das angeführte Argument noch immer unerschütterlich fest, und wird durch solche sogenannte aplanatische Objective nie viel geleistet werden, wie auch der sachkundige Prechtl [5]) bestimmt ausspricht.

---

[1]) Praktische Dioptrik als vollständige und gemein fafsliche Anleitung zur Verfertigung achromatischer Fernröhre u. s. w. Wien 1828. 296. S. 8.

[2]) Gilb. Ann. VI. p. 129.

[3]) Gilb. Ann. LVI. 277.

[4]) S. unter andern Edinb. Journ. of Science Nro. XV. p. 93.

[5]) Da mir nicht wenige achtungswerthe Gelehrte bekannt sind, welche von den neuerdings ausnehmend gepriesenen aplanatischen Objectiven grofse Resultate erwarten, so unterstütze ich meine Behauptung durch wörtliche Mittheilung des Urtheils, welches Prechtl darüber fället, Vorr. p. XI. „Diese aplanatischen Objective verdienen für die praktische Ausübung keine Empfehlung, und können auf keine Weise den guten Objectiven aus Flint- und Spiegelglas gleich gesetzt werden. Bei dem Terpentinöl, welches dazu verwendet wird, sind zwar in Verbindung mit Gas die Zerstreuungsverhältnisse der verschiedenfarbigen Strahlen so wenig von einander abweichend, dafs das zurückbleibende secundäre Spectrum so gut als aufgehoben angesehen werden kann, und in dieser Hinsicht ist durch ein solches Objectiv

Das gröfste, künstlichste, und durch seine erstaunenswerthen Wirkungen ausgezeichnetste Fernrohr war früher Herschel's oben erwähntes Spiegelteleskop von 40 engl. Fufs Länge. Neuerdings ist dasselbe durch Fraunhofer's grofsen Refractor [1]) übertroffen, welcher durch den höchst sinnreichen Mechanismus seiner Aufstellung und seine optischen Wirkungen bei einer Focallänge des Objectiv's von 160 Z. und einer Oeffnung desselben von 9 Z. par. allgemeine Bewunderung erhalten hat. Fraunhofer und der jüngere Herschel haben bei dieser Gelegenheit die Frage aufgeworfen, ob katoptrische oder dioptrische Werkzeuge mehr zu leisten vermögen. Im Ganzen geht aus ihren Untersuchungen hervor, dafs man es zwar hinsichtlich der Lichtstärke durch Spiegelwerkzeuge weiter bringen kann, als durch Refractoren, dafs aber hinsichtlich der Deutlichkeit und Schärfe der Bilder lezteren der Vorzug gebührt. Dazu kommt, dafs die Spiegel leicht anlaufen, und wenn sie dann mit grofsen Kosten einigemale aufs Neue polirt sind, so verlieren sie ihren Werth ganz. Dagegen ist die Dauer einer achromatischen Linse unbestimmbar, wenn sie gegen eigentliche Beschädigung gesichert ist. Man reinigt ihre Flächen vom nachtheiligen Schmutze nach Fraunhofer am besten mit feiner, rein gewaschener und demnächst einigemale in Kalkwasser getauchter und getrockneter, übrigens vor Staub bewahrter Leinwand, nöthigenfalls mit Anwendung einiger Tropfen Weingeist.

---

eine Vollkommenheit erreichbar, die durch Anwendung des Flintglases wohl nicht erzielt werden kann. Ein solches Objectiv unterliegt jedoch einer viel gröfseren Unvollkommenheit durch die grofsen Aenderungen, welche die Flüssigkeit bei jeder, wenn gleich unbedeutenden Temperaturveränderung in ihrem Brechungs- und Zerstreuungsvermögen erleidet, was dann auf die Deutlichkeit des Bildes den nachtheiligsten Einflufs hat, besonders da diese Temperaturunterschiede in verschiedenen Theilen der Flüssigkeit verschieden sind. Daher kommt es, dafs ein solches Objectiv zu einer Zeit vortreffliche Wirkung leistet, während es zu einer andern kaum brauchbar ist. Dadurch wird seine astronomische Verwendung im hohen Grade beschränkt u. s. w." Es ist wohl unnöthig zu bemerken, dafs der hier vom Terpentinöl gerügte Fehler den Schwefelkohlenstoff noch mehr trifft.

[1]) S. Beschreibung des auf der Sternwarte der Kaiserl. Universität zu Dorpat befindlichen grofsen Refractors. Herausgeg. von F. G. W. Struve. Dorpat 1825. gr. Fol.

f) Mikroskop.

§. 147.

Indem die erhabenen Linsengläser die Convergenz der Lichtstrahlen vermehren, müssen sie die Gröfsen der Bilder verändern, wobei die Entfernung der Objecte und des Auges vom Glase vorzüglich zu berücksichtigen ist §. 119. Bedient man sich diesemnach einer convexen Linse, damit das Object dem Auge mehr genähert, das erzeugte und gesehene Bild dagegen mehr entfernt werde, so erhält man ein einfaches Mikroskop, dessen Vergröfserung dem Verhältnifs der Gesichtsweite zur Näherung direct proportional ist. Wenn man aber das Bild einer solchen Linse durch zwei oder mehrere Linsen auffängt, so wird durch ein solches zusammengesetztes Mikroskop in Hinsicht der Bequemlichkeit, der Gröfse des Gesichtsfeldes und der Vergröfserung ausnehmend viel gewonnen.

Es giebt im Allgemeinen zwei Arten Mikroskope, einfache und zusammengesetzte, und die lezteren sind dann wieder dioptrische und katoptrische. Von allen existiren vielfache Abänderungen [1]. Wird der Gesichtswinkel eines Objectes zu klein §. 141., so kann kein Bild desselben im Auge entstehen. Es könnte derselbe vergröfsert werden, wenn man den Gegenstand dem Auge mehr näherte, allein dann kann, vermöge der Wirkung durch Linsengläser §. 119., also auch des diesen ähnlich gebaueten Auges, gleichfalls kein Bild desselben erzeugt werden. Lezteres ist möglich, wenn man eine convexe Linse zwischen Object und Auge bringt, und zwar so, dafs das Object sich nahe genau im Brennpuncte derselben befindet, in welchem Falle dann nach §. 119. ein hinter der Linse liegendes, vergröfsertes Bild erzeugt werden mufs, oder das Auge vor der Linse ein vergröfsertes Bild wahrnimmt. Eigentlich ist hiernach eine jede convexe Linse zugleich ein Mikroskop, wie dieses auch aus dem Gebrauche der sogenannten Lese-

---

[1]) Ausführliche Untersuchungen über die verschiedenen Arten der Mikroskope von Goring findet man in Quarterly Journ. of Sc. and Art. New. Ser. N, V. p. 107.

gläser, biconvexer Linsen von 2,5 bis 3,5 Z. Durchmesser, deren sich alte Leute bedienen, hervorgeht. Hieraus ergiebt sich dann auch leicht die lineare Vergröfserung der Linsen. Der optische Winkel, unter welchem ein Object dem Auge erscheint, wird nämlich so viel gröfser, je näher es ihm gebracht wird. Soll die Vergröfserung n fach seyn, und ist d die Entfernung des deutlichen Sehens, so mufs das Object in den Abstand $= \frac{1}{n} d$ gebracht werden. Es ist aber §. 141. die Brennweite = f einer Linse, welche das erzeugte Bild in die Entfernung = d setzt, wenn die Weite des deutlichen Sehns $= \delta$ ist: $f = \frac{d\,\delta}{d - \delta}$. Soll also das Bild in die Entfernung $= \frac{1}{n} d$ vom Auge kommen, so darf man nur $\delta = \frac{1}{n} d$ setzen, und erhält dann $f = \frac{d \cdot \frac{1}{n} d}{d - \frac{1}{n} d} = \frac{d}{n - 1}$. Indem aber n die Vergröfserung ist, so wird $n - 1 = \frac{d}{f}$; d. h. die Vergröfserung einer Linse ist um 1 geringer als der Quotient der Brennweite der Linse in die Weite des deutlichen Sehens. Ist erstere = 1 Z.; leztere = 10 Z. so ist die lineare Vergröfserung 9fach, und da diese nach allen Durchmessern des Objectes stattfindet, so wird die Vergröfserung der Fläche dem Quadrate der linearen gleich seyn. Hieraus geht dann zugleich hervor, dafs die Vergröfserung durch die nämliche Linse für ein weitsichtiges Auge gröfser und für ein kurzsichtiges geringer seyn wird, als für ein gewöhnliches. Diese Vergröfserung der Fläche wird im Allgemeinen verstanden, wenn von der Wirkung eines Mikroskopes die Rede ist.

So lange die Brennweite der Linsen zwischen 0,5 bis höchstens 2 Z. beträgt, nennt man sie Loupen, wird sie kleiner, so heifsen sie Mikroskope, und einfache Mikroskope sind also blofse Linsen, oder Glaskugeln, selbst mit Wasser gefüllte Glaskugeln. Leeuwenhoek bediente sich solcher blofser Linsen, Hartsocker nahm Glaskügelchen, Gray schlug einen blofsen Wassertropfen in der Oeffnung

eines Lineals zu diesem Zwecke vor; selbst eine bloſse Oeffnung in einem dünnen Bleche giebt eine Art Mikroskop. Neuerdings hat Goring [1]) Linsen aus Diamant in Vorschlag gebracht und mit groſsem Effecte hergestellt.

Statt einer Linse kann man auch zwei oder mehrere übereinander legen, und zwar in derjenigen Entfernung, daſs das durch die eine erzeugte Bild statt des Objectes durch die folgende gesehen wird, wobei sich von selbst versteht, daſs die Vermehrung ihre Grenze hat, weil das Bild immer weiter wegrückt. Dieses kommt in Anwendung bei den doppelten oder dreifachen Loupen.

Als Erfinder der aus mehreren Linsen bestehenden zusammengesetzten Mikroskope wird gleichfalls Zacharias Janssen aus Middelburg genannt [2]). Sie beruhen auf dem Gesetze, daſs Linsengläser von einem Objecte, welches ihnen näher als die doppelte Brennweite ist, ein vergröſsertes Bild erzeugen. Das aus zwei Linsen bestehende Mikro-
Fig. 186] skop giebt durch die Objectivlinse ll von dem Objecte ab ein verkehrtes vergröſsertes Bild a′b′, welches nahe im Brennpuncte der Ocularlinse mm vom Auge o durch diese, wie durch eine Loupe betrachtet, und diesemnach noch mehr vergröſsert in $\alpha\beta$ erscheint. Hieraus ergiebt sich also die Vergröſserung des Mikroskops von selbst, indem sie dem Producte der Vergröſserungen durch jede einzelne Linse gleich ist. Beträgt also die lineare Vergröſserung der Objectivlinse nach der angegebenen Formel = 9 die der Ocularlinse = 3, so ist die des Mikroskops = 27 also die eigentliche Flächen-Vergröſserung = 729, die Gröſse des Objectes = 1 gesetzt. Es folgt ferner hieraus, daſs der Abstand beider Linsen nach der Gesichtsweite des Beobachters regulirt werden muſs, die Vergröſserung aber wird durch die Schwierigkeit, genaue Linsen von so kurzen Brennweiten zu erhalten, und durch das kleine Gesichtsfeld des Ocularglases beschränkt. Auſser der *Objectiv-* und *Ocular-Linse*, wird daher noch eine *Collectiv-Linse* angebracht, und hiernach erhält man das aus drei Linsen be-
Fig. 187] stehende Mikroskop. Hierbei erzeugt die Linse ll vom Objecte ab ein Bild a′b′. Ehe dieses zur Vollkommenheit kommt, wird es durch die planconvexe Linse nn nach $\alpha\beta$ versetzt, und hier durch die Ocularlinse mm so

---

[1]) S. Quarterly Journ. of Sc. Lit. and Art. New Ser. N. I. p. 221. N. III. p. 15.

[2]) De vero telescopii inventore. p. 35.

betrachtet, daſs das Auge o dasselbe in $\alpha'\beta'$ wahrnimmt. Statt einer einfachen Loupe kann auch eine doppelte, und statt eines einfachen Objectives ein doppeltes oder mehrfaches angewandt werden. Hierdurch geht zwar Licht verloren, allein die Mikroskope unterscheiden sich in sofern von den Fernröhren, daſs man bei lezteren das gegebene Licht möglichst ungeschwächt zu erhalten sucht, bei ersteren aber kann man durch einen concaven Spiegel das Licht nach Willkühr verstärken, und muſs also nur dahin sehen, ein möglichst deutliches Bild zu erhalten.

Die Vergröſserung durch dieses Mikroskop wird auf gleiche Weise als bei dem so eben beschriebenen durch Rechnung gefunden. Weil es aber schwierig ist, die Brennweiten der Linsen genau zu messen, so sucht man sie meistens empirisch dadurch zu bestimmen, daſs man das gesehene vergröſserte Bild mit einem Maſsstabe vergleicht, welchen das unbewaffnete Auge gleichzeitig betrachtet. Diese Methode kann indeſs keine groſse Genauigkeit gewähren, und es ist daher sehr verdienstlich, daſs der Baron v. Jacquin ein zuverlässiges Mittel angegeben hat, um die Vergröſserung der Mikroskope mit absoluter Schärfe zu messen [1]. Im Allgemeinen besteht dieses darin, daſs man ein durch das Mikroskop gesehenes, genau gemessenes, Bild mit einem in der gehörigen Gesichtsweite gesehenen, gleichfalls genau gemessenen, zusammenfallen läſst, und beider Fig. 188 Verhältniſs berechnet. Es sey zu diesem Ende A das obere Ende des vertical stehenden Rohres des Mikroskops; B ein genauer, in der gehörigen Gesichtsweite befestigter getheilter Maſsstab, welcher durch ein gegen das Auge geblendetes Licht beleuchtet wird, wenn man die Messung bei Kerzenlicht vornimmt, wie dieses zur Wahrnehmung des wenig hellen mikroskopischen Bildes am besten ist. Statt eines Objectes legt man unter die Objectivlinse des Mikroskop's ein sehr fein getheiltes Glasmikrometer, und läſst das vergröſserte Bild desselben statt ins Auge, gegen den durch Sömmerring d. jüng. angegebenen kleinen Fangspiegel [2] α fallen, welcher vermittelst seiner Arme beweglich und oben am Mikroskope festgeschroben, in einen Winkel von 45° gegen das aus dem Mikroskope fallende Bild gerichtet wird. Das Auge projicirt dann das vom

[1]) Baumgartner und v. Ettingshausen Zeitschrift für Physik und Math. IV. p. 1.

[2]) S. Dingler Polytech. Journ. Bd. VII.

Spiegel reflectirte Bild des Mikrometers auf den in A befindlichen, auf schwarzem Papiere mit weifsen Linien gezeichneten Mafsstab, beide nach dem nämlichen Mafse getheilt, bringt es dahin, dafs gewisse Mengen von beiden Linien sich decken, und zählt diese. Ist dann jeder Theil des Mafsstabes beim Mikrometer in eine gewisse Menge $= a$ Theile getheilt, und heifsen die Mengen der zusammenfallenden Mikrometertheile und Mafstheile m und n, so ist die Vergröfserung $x = a\frac{n}{m}$. Wäre z. B. das Mikrometer in 30 Theile der Linie getheilt, der Mafsstab in einzelne Linien, und deckten 3 Theile von jenem $= m$, von diesem 4 Theile $= n$, so wäre die lineare Vergröfserung $= 30 \times \frac{4}{3} = 40$, mithin die Vergröfserung der Fläche $= 1600$ und die des Inhalts $= 64000$mal. Es versteht sich von selbst, dafs sowohl m als auch n und beide zusammen ganze oder gebrochene Zahlen seyn können. Wollte man diese Methode beim Spiegelmikroskope von Amici oder einem sonstigen horizontal gerichteten anwenden, so wäre nichts weiter erforderlich, als den Mafsstab horizontal unter die Ocular-Oeffnung desselben zu legen, und diesen nebst dem im kleinen Sömmerring'schen Spiegel reflectirten Mikrometer in verticaler Richtung zu betrachten. Auch auf Fernröhre läfst sich diese Methode anwenden, wobei man einen vergröfserten Mafsstab in der Entfernung von mehreren hundert Fufsen in das Gesichtsfeld desselben bringt, das Bild gleichfalls durch den kleinen Spiegel auffängt, und auf einen kleinen getheilten Mafsstab projicirt; von der überraschenden Schärfe und Genauigkeit dieser leichten Messung habe ich mich bei dem hochverdienten Baron v. Jacquin selbst durch Versuche überzeugt [1].

Ein gutes Mikroskop erfordert ferner eine solche Einrichtung der Krümmungen der Gläser, dafs die Abweichung wegen der Kugelgestalt möglichst vermieden und ein deutliches Bild erhalten werde. Aufserdem müssen die Objectivlinsen achromatisch seyn, welches bei dem kleinen Durchmesser und der kurzen Brennweite derselben sehr schwierig ist. Die farbigen Bilder, welche durch die Ocularlinse entstehen, werden durch das Collectivglas möglichst aufgehoben, welches man so einrichtet, dafs die farbigen Bilder sich scheinbar decken und daher keine gefärbte Ränder

[1]) Vergl. v. Ettingshausen Zeitschrift für Phys. u. Math. Bd. V. p. 316.

zeigen. Eine genaue Centrirung der Gläser ist gleichfalls erforderlich, auch werden die unentbehrlichen Blendungen angebracht, um die Randstrahlen abzuhalten, und die Oeffnung für das Auge wird so eingerichtet, daſs dasselbe sich an der zum deutlichsten Sehen am besten geeigneten Stelle befindet. Die übrigen Hülfsmittel zur gehörigen Beleuchtung, zum erforderlichen Nähern der Objecte, das Schwärzen des Rohres im Innern, das Befestigen der Objectivschieber u. s. w. zeigt jeder gute Apparat dieser Art, und giebt es verschiedene hierzu geeignete Vorrichtungen.

Chevalier [1]) bringt bei seinem Mikroskope zugleich das Newtonsche Prisma an, und richtet es dadurch so ein, daſs man das vergröſserte Bild auf einer mattgeschliffenen Fig. 189] Glasscheibe bequem nachzeichnen kann. Dasselbe besteht aus der Objectivlinse ll und der Collectivlinse mm, beide planoconvex, mit ihren gekrümmten Flächen einander zugekehrt. Ist dann durch beide vom Objecte ab das vergröſserte Bild a'b' erzeugt, so fallen von diesem die Lichtstrahlen auf die Hypotenuse des gleichschenklichen Prisma s t r, und werden durch Reflexion im Bilde $\alpha\beta$ sichtbar. Hier kann dasselbe mit dem Auge gesehen werden, oder man läſst es auf eine mattgeschliffene Glastafel fallen, um es abzuzeichnen. Die Seite r t dieses Prisma's kann zu mehrerer Vergröſserung des Bildes auch convex seyn, wie in der von Chevalier gleichfalls construirten camera obscura §. 138. Es versteht sich zugleich von selbst, daſs das Object durch einen Hohlspiegel hinlänglich erleuchtet wird, daſs die Linsen gehörig in ein Rohr eingeschlossen sind u. s. w.

Spiegelmikroskope, oder katoptrische hat man früherhin schon mehrere angegeben, und ihre Construction wird im Allgemeinen auch schon durch die katoptrischen Teleskope angedeutet. Neuerdings sind diese indeſs von ausnehmen-Fig. 190] der Güte durch Amici [2]) verfertigt. Dieses besteht aus einem horizontalen Rohre mit einem Spiegel a b von gleichem Durchmesser als der des Rohres. Dieser soll elliptisch gekrümmt seyn, und wird von Amici auſserordentlich fein polirt geliefert. Er erhält das Bild des gesehenen Objectes von dem kleinen, ebenen, in der Axe des Rohres befindlichen und um 45° gegen dieselbe geneigten Fangspiegel c, und sendet es vergröſsert dem Oculare o zu, durch welches dasselbe vom Auge betrachtet wird. Die

[1]) S. Bulletin de la Soc. d'Encour. 1822. Nov.

[2]) Ann. de Chim. et de Phys. XVII. p. 412.

Objecte werden auf den beweglichen Objectenträger α gelegt, und vermittelst desselben in die gehörige Entfernung vom kleinen Spiegel gebracht. Zur Erleuchtung dient der Hohlspiegel β bei durchsichtigen Gegenständen, bei undurchsichtigen aber der andere γ, welche sich indefs beide sowohl bei jenen als auch bei diesen wechselseitig verstärken, indem sie einander das Licht zuwerfen. Für undurchsichtige Gegenstände ist dieses Mikroskop vortrefflich, und überhaupt ist die Vergröfserung der Bilder und ihre Helligkeit ausgezeichnet, indefs kommt dasselbe den besten Fraunhoferschen und noch weniger den durch Plöfsl in Wien verfertigten in seinen Wirkungen keineswegs gleich [1].

Für undurchsichtige Gegenstände ist äufserst bequem und wegen der Klarheit und Schärfe der Bilder sehr empfehlenswerth das Lampenmikroskop von Adams, dessen Fig. 191] Construction und Wirkungsart nach dem bisher Gesagten aus der blofsen Figur deutlich wird. Das Bild im Brennpuncte der beiden Linsen wird in einer Entfernung von 8 Zoll vom Auge beobachtet [2].

Das *Sonnenmikroskop* besteht eigentlich aus einer blofsen Fig. 192] kleinen biconvexen Linse m m, welche das Bild $\alpha\beta$ eines fast in ihrem Brennpuncte befindlichen Objectes a b in grofse Entfernung auf eine weifse Tafel, eine Wand oder dergl., wirft, wo dasselbe in ausnehmender Vergröfserung gesehen wird. Die blofse lineare Vergröfserung, welche dem Quotienten a m in m α gleich ist, erreicht das mehrere Hundertfache, und in gleichem Verhältnisse steigt die Entfernung des Bildes vom Objecte, aus welchem Grunde die Erleuchtung des Bildes nicht grofs seyn könnte, wenn dieselbe nicht dadurch so aufserordentlich verstärkt würde, dafs die von der Sonne auf den schrägen und beweglichen Spiegel q q fallenden Lichtstrahlen S S S durch die biconvexe Linse l l concentrirt zur stärksten Erleuchtung des Objectes und Bildes dienen, welche um so stärker hervorsticht, da das Bild in einem dunkelen Zimmer aufgefangen wird. Für einige Gegenstände, namentlich kleine lebende Thierchen, in denen man übrigens die Circulation des Blutes und der Säfte bei der ausgezeichneten Vergrö-

---

1) Zur Literatur dient unter andern Mém. sur la construction et l'usage du Microscope par D. Villars. Par. 1806. Essay's on the microscope by G. Adams. Lond. 1787. Schmidt in Gren Journ. der Phys. I. 237.

2) S. Schmidt in Gren J. der Ph. a. a O.

ſserung sehen kann, ist die groſse Hitze des auf sie fallenden Lichtes nachtheilich. Man kann das Bild $\alpha\beta$ auch mit einem schrägen Spiegel auffangen und auf eine mattgeschliffene Glastafel projiciren, wodurch das Mikroskop zugleich als camera clara wirkt. Um undurchsichtige Gegenstände durch dasselbe darzustellen fängt man die Sonnenstrahlen SSS, wenn sie vom ersten Spiegel horizontal reflectirt werden, mit einem zweiten, schräg gerichteten, Spiegel so auf, daſs sie wieder rückwärts gegen das Object, wie beim Lampenmikroskop geworfen, und von diesem horizontal reflectirt werden [1]. Eine verbesserte Construction des microscopii compositi, welches zugleich als Sonnenmikroskop mit camera clara gebraucht werden kann, hat Garny angegeben [2].

Die *Zauberlaterne*, welche mit dem Sonnenmikroskop Fig. 193] viele Aehnlichkeit hat, wird aus der bloſsen Figur klar, so wie überhaupt die Veränderung der durch dieselbe erzeugten Bilder nicht schwer zu erklären ist [3].

Bringt man die Linse m m nahe an die n n, so sieht man zuletzt statt eines Bildes einen bloſsen hellen Punct. Entfernt man die Linse n n weiter, so erscheint das Bild verwaschen, die Figuren zeigen sich geisterartig. Bei der Bewegung des ganzen Apparates bewegen sich die Figuren zugleich, und mit zwei oder mehreren solchen Laternen lassen sich mehrere Figuren einander nähern und von einander entfernen. Solcher Hülfsmittel bedienen sich die herumreisenden Künstler bei ihren Darstellungen.

Anhang.

Verhältniſs zwischen Licht und Wärme.

§. 148.

Das Licht, sowohl das weiſse als auch das farbige, zeigt sich in einer dreifachen Wirksamkeit, als erleuch-

---

[1]) S. Beschreibung eines verbesserten Sonnenmikroskops von J. L. B. Wiedeburg. Nürnberg 1758. 8. Emendatio microscopii solaris auct. F. V. S. Aepino in nov. Comm. Petrop. T. IX.

[2]) S. Ann. of Phil. XIII. p. 51.

[3]) S. Athanas. Kircheri ars magna lucis et umbrae. Amstel. 1761. fol.

tend, als chemisch thätig und als erwärmend. Alle diese drei Eigenschaften kommen zwar den einzelnen farbigen Strahlen insgesammt zu, allein in einem sehr verschiedenen Grade. Die stärkste erleuchtende Kraft besitzen die gelben Strahlen, die chemische Thätigkeit ist am gröfsten in den violetten, die erwärmende dagegen in den rothen Strahlen des Farbenbildes.

Im weifsen Lichte scheinen die verschiedenen Thätigkeiten des farbigen Lichtes gleichsam ausgeglichen zu seyn, so dafs die erforderliche mittlere Wirksamkeit hervorgebracht wird. Alle Untersuchungen ergeben aber einstimmend, dafs die gelben Strahlen, da wo sie den grünen nahe kommen, die stärkste Erleuchtungskraft haben, und dafs diese von da nach beiden Seiten abnimmt, folglich bei den rothen und indigofarbenen ohngefähr gleich, bei den violetten am schwächsten ist [1]. Fraunhofer's sehr gehaltreiche Untersuchungen über diese Frage sind bereits oben §. 121. erwähnt.

Die Lichtstrahlen besitzen eine chemische Kraft, und bewirken sowohl Verbindungen, als auch Zersetzungen. Zu den vorzüglichsten Erscheinungen dieser Art gehören folgende. Wenn man nach Gay-Lüssac und Thenard [2]) gleiche Volumina Chlorgas und Wasserstoffgas in einem weifsen Glase dem Einflusse des Sonnenlichtes, zuweilen selbst nur des hellen Tageslichtes aussetzt, so vereinigen sich beide mit einer Explosion, welche ein starkes Glas erfordert, zu salzsaurem Gase. Frisches schwefelblausaures Eisenoxyd (blutrothe anthrazothionsaure Eisentinctur) durch vielen Alkohol verdünnt und dem hellen Sonnenlichte in verschlossenen Gläschen ausgesetzt verwandelt sich in weniger als einer Stunde, bei starkem Sonnenschein in einigen Minuten, in eine wasserhelle Flüssigkeit (schwefelblausaures Eisenoxydul durch Abgeben von Sauerstoff an den Alkohol), röthet sich aber im Dunkeln wieder. Aehnliche Farbenveränderungen zeigt in Aether gelösetes salzsaures Eisenoxyd und in Aether oder Weingeist gelösetes Kupferoxyd [3]), auch wird die blaue Auflösung des Iod-Stärkemehls in Wasser im

---

[1]) S. Herschel Untersuchungen über die Natur der Sonnenst. Uebers. von Harding. Celle 1801. p. 13. Vergl. Gilb. Ann. VII. 142.

[2]) Schweigg. Journ. V. 219.

[3]) Gehlen und Neumann in Schweigg. Journ. XIII. 358.

starken Lichte sehr bald entfärbt. Dahin gehört auch die Schwärzung der mit salpetersaurem Silber benetzten Leinewand und die Röthung des mit Goldauflösung befeuchteten Papiers durch Einwirkung des Lichtes, die Entfärbung der grünen Tinktur, welche man mit Weingeist aus grünen Flieder-Kirsch- oder andern Blättern erhält. Die bekannte Entfärbung der mit leichten Farben gefärbten, hauptsächlich seidenen, Zeuge, die Zerstörung der Farben beim Bleichen, die Erzeugung der grünen und sonstigen Farben der Vegetabilien, welche im Dunkeln farblos bleiben, gehören gleichfalls hierher. Das Tagslicht bewirkt ferner die Zersetzung der Kohlensäure und Erzeugung des Sauerstoffgas durch lebende Pflanzen, statt dafs im Dunkeln ein entgegengesetzter Procefs stattzufinden scheint §. 74 u. 77. N. 4.

Verschiedene Substanzen, als insbesondere Kampfer, Salpeterlauge u. a. krystallisiren unter dem Einflusse des Lichtes, und die erzeugten Krystalle legen sich in zum Theil mit Papier überzogenen Gläsern vorzugsweise an die freien Stellen an [1]. Der Verlust des Krystallisationswassers mehrerer Salze ist gleichfalls Wirkung des Lichtes, und nicht blofs der Wärme, da dieselbe im blauen Lichte stärker erfolgt. Der Phosphor verwandelt sich durch anhaltenden Einflufs des Lichtes in einen rothen, undurchsichtigen und schwer schmelzbaren Körper, ohne dafs Sauerstoff hinzukommt oder eine andere Substanz bekannt ist, welcher diese Veränderung zugeschrieben werden kann. Auch Calomel wird dunkler, entwickelt aber dabei weder Sauerstoffgas noch Salzsäure. Am auffallendsten und interessantesten sind die Veränderungen, welche das Hornsilber im weifsen und farbigen Lichte erleidet. Wenn man in vieles Wasser, worin etwas Salz aufgelöset ist, einen Tropfen salpetersaure Silbersolution bringt, so wird die Flüssigkeit weifslich opalisirend, bald am Tageslichte violett, dann blau und endlich bläulichgrau oder schwärzlich. Das frischgefällte Hornsilber wird gleichfalls in den Sonnenstrahlen sofort violett, dann schwarz. Nach Seebeck [2]) wird Papier mit Hornsilber überzogen im violetten prismatischen Farbenstrahle röthlichblau, im blauen blau, im rothen röthlich, im gelben findet keine oder kaum merkliche Färbung statt. Im vereinten rothen und violetten Strahle wird dasselbe karmesin-roth, die durch eine Linse vereinten Strah-

---

[1]) Scholz Phys. p. 111.

[2]) V. Goethe zur Farbenlehre II. 716. Schweigg. Journ. XL. 129.

len von grün bis roth färben dasselbe des blendenden Lichtes ungeachtet nicht; es färbt sich auch unter blauen, violetten und blaugrünen Gläsern, unter rothen verändert es sich wenig, unter gelbgrünen und gelben gar nicht. Lebhaftes Kerzenlicht von Oelgas bringt keine Färbung hervor [1], und eben so wenig haben die concentrirten Strahlen des Mondes diese Wirkung [2].

Dafs die chemische Kraft der violetten Strahlen stärker ist, als die der übrigen, und dafs daher das Hornsilber in ihnen am schnellsten und stärksten geschwärzt werde, bemerkte schon Scheele [3]. Ritter wollte auch über diese Strahlen hinaus reducirende Wirkungen gefunden haben, und Oxydation in den gelben und rothen [4]. Gegen die leztere Behauptung streiten aber die vorzüglich genauen Versuche von Berard [5] und die sehr ausführlichen Untersuchungen dieser gesammten Erscheinungen durch Ruhland, welcher indefs, übereinstimmend mit Wollaston [6] gleichfalls eine Fortsetzung der chemischen Wirkungen über das Violett hinaus beobachtet haben will, im Allgemeinen aber allen farbigen Strahlen chemische Wirkungen, u. z. sowohl oxydirende als desoxydirende zuschreibt, obwohl den brechbarsten mehr als den minder brechbaren. Nicht selten sind sie in ihren Wirkungen einander allerdings entgegengesetzt, und so können Substanzen, worunter namentlich das Hornsilber gehört, durch die rothen Strahlen auf einen geringeren Grad der Veränderung zurückgebracht werden, als derjenige ist, auf welchen sie durch die violetten versetzt wurden. Nicht minder wirken auch die violetten Strahlen stärker auf die Vegetation, bewirken das schnellere Keimen der Saamen und das Hinneigen der Pflanzen zum Lichte, welche sich dagegen vom rothen abwenden [7]. Als Ursache hiervon sieht Ruhland die stärkere Attraction der Körper zu diesen Strahlen an [8]. Diese Ansicht findet einen Grund der Bestätigung in der oft

---

1) Brande in Ann. Chim. et Phys. XIX. 215.
2) Gay-Lüssac ebend.
3) S. opuscula ed. Hebenstreit Lips. 1788. S. 75.
4) S. Gilb. Ann. VII. 527.
5) S. Gilb. Ann. XLVI. 376.
6) S. Gilb. Ann. XXXI. 416.
7) S. Schweigg. Journ. IX. 229.
8) S. über die polarische Wirkung des gefärbten heterogenen Lichtes. erl. 1817.

gemachten Beobachtung, dafs die Lichtmagnete in den brechbarsten Strahlen am stärksten leuchtend werden [1]). Ritter's [2]) Hypothese aber, dafs es ein eigenes erwärmendes Spectrum gebe, welches von geringerer Brechbarkeit sey, und sich daher über das Roth des leuchtenden erstrecke, desgleichen ein eigenes chemisches von gröfserer Brechbarkeit, als dieses, dessen Wirkungen über die leuchtenden violetten Strahlen hinausgehen sollen, ist durch die bisher bekannten Erfahrungen keineswegs so vollständig erwiesen, dafs man dieselbe bei ihrem Widerspruche mit der Theorie vom Lichte anzunehmen bereit seyn könnte. Mit der Undulationstheorie ist sie einmal gar nicht verträglich, und mit der klar vorgestellten Emanationstheorie kaum vereinbar. Man müfste nämlich eine unbekannte Potenz annehmen, welche neben dem Lichte von der Sonne ausginge, und ohne zu leuchten chemische Wirkungen erzeugte. Erlitte diese wirklich eine stärkere Brechung, so könnten die violetten Strahlen an derjenigen Grenze, wo sie von den übrigen prismatischen abgeschnitten sind, keine chemische Fig. 194] Wirkungen äufsern. Wäre nämlich P ein Prisma, a ein Schirm welcher die übrigen farbigen Lichtstrahlen, aufser die violetten, auffinge, v v' das violette Farbenbild, w w' das chemische Spectrum, so könnten im Raume v w keine chemische Wirkungen stattfinden, was gegen die Erfahrung streitet. Die Ursache aber, welche diese unrichtigen Folgerungen veranlafste, nämlich die geringe Lichtstärke des Farbenbildes an seinen beiden Enden ist schon §. 121. angegeben [3]).

[1]) Vergl. Wilson a series of experiments relating to the phosphoric and prismatic colours. Lond. 1775. 4. Ausz. in Leips. Sammlung zur Phys. und Naturgesch. I. 515.

[2]) Gilb. Ann. XII. 409. Gehlen Journ VI. 667.

[3]) Es giebt eine aufserordentliche Menge Untersuchungen über die chemischen Wirkungen des Lichtes. Aufser der bereits angegebenen Literatur ist noch folgende zu merken. Bonzius und Beccari in Comm. Soc. Bonon. IV. 74. Senebier mém. physico-chimiques sur l'influence de la lumière solaire pour modifier les êtres des trois regnes de la nature. Geneve 1783. 8. Rumford in Phil. Trans. LXXXVIII. p. 449. Scherer allg. Journ. der Chem. II 7. N W. Fischer über die Wirkung des Lichtes auf das Hornsilber. 1814 8. Grotthufs in Gilb. Ann. LXI. 50. Boeckmann Vers. über das Verhalten des Phosphors in verschiedenen Gasarten. Erl. 1800. Vergl Scherer's Journ. V. 243. Vogel in Schweigg. J. VI. 95. IX. 263. Gilb. Ann. XLV. 63. XLVIII. 375. Sehr ausführlich und reichhaltig an literärischen Nachweisungen ist P. Heinrich von der Natur und den Eigenschaften des Lichtes u. s. w. Petersb. 1808. 4. Ueber die Natur

Sehr vieles Aufsehen machten die Versuche von W. Herschel, welcher nicht bloſs die rothen Strahlen viel mehr erwärmend fand, als die violetten, sondern auch eine merkliche Erwärmung noch über die rothen Strahlen des Farbenbildes hinaus wahrgenommen hatte. Es stieg nach ihm ein Quecksilber-Thermometer

in den rothen Strahlen um 6°,75 — 7° F.
— grünen — — 3°,75
— violetten — — 2°

und nach sorgfältigen Versuchen will er sogar die stärkste erwärmende Kraft ½ Zoll vom äuſsersten Roth auſserhalb des Spectrums gefunden haben [1]). Etwas Aehnliches war früher von Rochon [2]) behauptet, mit dem Unterschiede, daſs er die gröſste Wärme im Gelb und keine unter dem Spectrum fand.

Die Herschelschen Versuche wurden von mehreren bestätigt, z. B. Engelfield [3]), von andern mitunter lebhaft bestritten, z. B. Leslie [4]), Wünsch [5]), Boeckmann [6]). Berard [7]) hat die Versuche auf das sorgfältigste wiederholt, findet aber weder den Unterschied der erwärmenden Kraft so groſs als Herschel, noch auch merklich erwärmende Strahlen auſserhalb der rothen prismatischen. Wünsch und Ruhland fanden die gröſste erwärmende Kraft sogar veränderlich, und lezterer setzt sie nach seinen Versuchen der chemischen Wirksamkeit umgekehrt proportional. Sehr ausführliche Untersuchungen hierüber hat Seebeck [8]) angestellt, und gefunden, daſs die erwärmende Kraft der farbigen Strahlen sich nach der Beschaffenheit des Prisma ändert, allgemein aber vom violetten Strahle an nach dem rothen hin zunimmt. Die stärkste Erwärmung findet sich

des Lichts von H. F. Link. Petersb. 1808. 8. (beides Preisschriften). Commentatio physica de lucis effectibus chemicis in corpora organica et organis destituta. Auct. G. Succow. Jenae 1828. Leztere Schrift enthält eine sehr vollständige Literatur über die bisherigen Bemühungen um diesen Gegenstand.

[1]) S. Herschel's Untersuchungen üb. d. Natur d. Sonnenstrahlen, üb. von Harding. 1801. im Auszuge in Gilb. Ann. VII. 137. X. 68. XII. 521.

[2]) S. opusc. 1783.

[3]) S. Journal of Royal Inst. I. 202. Gilb. Ann. XII. 399.

[4]) S. Gilb. Ann. X. 88.

[5]) Gehlen's J. VI. 633.

[6]) Ueb. d. Erwärmung d. Körper durch d. Sonnenstrahlen, Vorr.

[7]) S. Gilb. Ann. XLVI. 376.

[8]) Schweigg. Journ. XL. 129.

bei einem mit Wasser gefüllten Prisma im Gelb; bei einem mit Vitriolöl oder einer Auflösung von Salmiak und Sublimat gefüllten zwischen Gelb und Roth; bei einem Prisma aus Kronglas im Roth und aus Flintglas aufserhalb dem Roth. Am meisten Gewicht haben ohne Zweifel die sehr genauen Versuche von Boeckmann und Berard, nach denen die erwärmende Kraft nicht über die Grenze der rothen Strahlen hinausgeht, wofür auch die in Beziehung auf die chemischen Wirkungen angegebenen Gründe bestimmt entscheiden. Dafs nach Herschel und Wollaston [1]) der Brennpunct der Wärmestrahlen weiter von der Linse entfernt liegen soll, als der leuchtende, folgt aus der geringeren Brechbarkeit der am stärksten erwärmenden Strahlen.

§. 149.

Soweit aus den verschiedenen Resultaten der schwierigen Versuche eine bestimmte Folgerung erhalten werden kann, läfst sich annehmen, dafs die Lichtstrahlen nicht von eigenthümlichen Wärmestrahlen von geringerer Brechbarkeit begleitet werden, vielmehr scheint das Licht selbst eine erwärmende Kraft zu haben, welche meistens in einer Absorbirung und Bindung desselben gesucht wird, wahrscheinlicher aber als eine Ausscheidung der in den Körpern vorhandenen Wärme anzusehen ist. Merkwürdig, und zugleich den Unterschied zwischen Licht und Wärme begründend sind die Versuche, wonach die Wärmestrahlen zwar von metallenen spiegelnden Flächen nach Art des Lichtes reflectirt, durch Glas aber fast gar nicht durchgelassen werden, obgleich sie gewissen Gesetzen der Polarisation unterworfen scheinen.

Da das Tagslicht, und jedes Licht von bedeutender Stärke Wärme erzeugt, zugleich die Steigerung der Hitze zum Glühen, also zum Leuchten, führt, so war es natürlich, eine gewisse Verwandtschaft zwischen Licht und Wärme anzunehmen [2]). Die eben erwähnten Versuche Herschel's

[1]) Gilb. Ann. XXXIX. 291.

[2]) Die älteren Untersuchungen über Gleichheit des Lichts und der Wärme finden sich vollständig in Haller's Elem. Physiol. T. V. p. 444. ed. 4.

sollten zwar zunächst nur zeigen, welche farbige Strahlen die stärkste Wärme geben, führten indeſs zu dem Resultate, daſs das Licht, als solches, nicht Wärme sey, sie auch nicht selbst erzeuge, weil sonst die am stärksten leuchtenden farbigen Strahlen auch die meiste Wärme hervorrufen müſsten, sondern daſs beide, ihrem Wesen nach verschieden, in steter Begleitung gefunden würden, und daſs namentlich die von der Sonne ausgehenden Strahlen aus Licht und Wärme zugleich bestehen, im Prisma zwar gebrochen würden, die eigenthümlichen Lichtstrahlen jedoch stärker als die Wärmestrahlen. Vergleicht man, neben den Erscheinungen, welche diese Hypothese veranlaſsten, zugleich das übrige Verhalten beider Potenzen, namentlich die Gesetze der Bewegung der Wärme, des specifischen und latenten Wärmestoffes u. s. w., so muſs dieselbe als sehr unnatürlich erscheinen, und kann nur dann zugelassen werden, wenn es kein anderes Mittel der Erklärung von jenen giebt. Hiernach strömte nämlich unablässig eine ungeheure Menge Wärme von der Sonne zur Erde, ja in den ganzen Himmelsraum, und ohne die Frage zu erörtern, ob eine stets unerschöpfliche Wärmequelle überhaupt denkbar sey, wird nicht einmal die zunächst liegende beantwortet, wo denn die einmal auf unserer Erde erzeugte Wärme bleibe, da sie bei Nacht und im Winter verschwindet. Es stehen indeſs dieser Hypothese noch andere Gründe entgegen.

Daſs nämlich die Wärmestrahlen überhaupt eine Brechung in durchsichtigen Prismen, wie die Lichtstrahlen, erleiden sollten, oder gar eine, mit der farbigen Brechung des Lichtes harmonirende, streitet gegen das bekannte Gesetz, daſs durchsichtige Substanzen, namentlich das Glas, die strahlende Wärme nur dann überhaupt oder wenig durchlassen, wenn sie zum Leuchten übergeht, und ein Glasprisma müſste daher die ihrem Wesen nach immer dunkelen Wärmestrahlen in Begleitung der Lichtstrahlen durch seine Masse lassen, und sie erst nach dem Austritte aus dem Glase von den Lichtstrahlen trennen; die Wirkung des Glases müſste mithin erst hinter dem Glase eintreten, eine wahrhaft unnatürliche Voraussetzung. Interessant sind in dieser Hinsicht die Versuche Ruhland's, wonach das Licht, wenn es durch warme oder kalte Flüssigkeiten fällt, keine Veränderung seiner erwärmenden Kraft erleidet. Etwas Aehnliches zeigt sich, wenn man in beträchtlicher Entfernung die erwärmende Kraft des Feuers empfindet, ohne daſs die Luft bis dahin wärmer wird, mithin ohne eine eigentliche Fortpflanzung

der Wärme. Nach eigenen Beobachtungen drangen einst die wärmeerzeugenden Lichtstrahlen eines starken Feuers in einer Entfernung von 130 F. durch gefrorne Fensterscheiben, und bewirkten hinter denselben eine merkliche Erwärmung, ohne das Eis der Fensterscheiben bei — 5° im mindesten zu schmelzen. An gewisse, die Lichtstrahlen begleitende Wärmestrahlen wäre also nicht zu denken.

Um so mehr Ansehen gewinnt die Meinung derjenigen, welche die Erwärmung durch das Licht aus einem Gebundenwerden oder aus einem Uebergange desselben aus dem Zustande der gröfsten Beweglichkeit zum Zustande der Ruhe erklären wollen. Als Beweise hierfür dienen die verschiedenen Versuche, wonach die Farbe überhaupt und vorzüglich ihre Dunkelheit die erwärmende Kraft der Lichtstrahlen vermehrt, wie unter andern Franklin durch verschiedenfarbige Tuchscheiben darzuthun suchte, welche im Verhältnifs der Dunkelheit ihrer Farbe tiefer in den Schnee durch Erwärmung eingesunken waren [1]. Nach diesen und anderen, auf eine Identität von Licht und Wärme hinführenden Erscheinungen sind mehrere Gelehrte geneigt, beide für gleich zu halten, unter andern Link [2], Berthollet [3], Dizé [4], Prechtl [5]. Vor allen andern hat Biot [6] neuerdings diese Hypothese in ihrer ganzen Ausdehnung auf das bestimmteste ausgesprochen. Dieser berühmte Physiker sagt unter andern: *La transmission plus abondante à mesure que le rayonnement calorifique s'approche de l'état de lumière semble indiquer le progrès d'un même phénomène qui, dans ses modifications diverses (agit sur nous) inégalement, comme si les émanations calorifiques n'etoient que de la lumière obscure, et la lumière du calorique lumineux.* Allein hiergegen streitet zunächst, dafs die in unmefsbarer Geschwindigkeit sich bewegenden dunkeln Wärmestrahlen, wenn sie durch Hohlspiegel reflectirt werden, dieser ihrer Ge-

---

1) S. Franklin letters on phil. subj. 56. Aehnliche Erscheinungen erzählen Pictet Vers. über das Feuer §. 83. Saussure Reise durch die Alpen IV. 109. vorzüglich C. W. Boeckmann über die Erwärmung verschiedener Körper durch die Sonnenstrahlen. Carlsr. 1811.

2) Beiträge zur Phys. und Chemie; II. u. III.

3) Statique chimique I. 194.

4) J. d. ph. VI. 177. Gilb. Ann. IV. 410.

5) Gilb. Ann. XX. 305. Vergl. Davy's Hyppthesen über Licht, Wärme u. Elektricität ebend. XII. 546. ff.

6) Traité IV. p. 612 u. a. a. O.

schwindigkeit ungeachtet nicht leuchten [1], desgleichen die Beobachtung von de la Roche, welcher gefunden hat, dafs die Wärmestrahlen bis zum Siedepuncte des Wassers selbst von dem dünnsten Glase nicht durchgelassen werden [2], so wie auch dafs die Wärmestrahlen durch dickeres aber durchsichtigeres Glas weniger leicht, als durch dünneres undurchsichtiges dringen, endlich aufser mehreren andern Gründen, dafs das geringe Licht der Flamme des Knallgasgebläses eine so aufserordentliche Hitze erzeugt, da es obendrein bläulich und nicht röthlich ist [3]).

Als ein gewichtiges Argument steht dieser Hypothese im Ganzen ferner entgegen, dafs die Menge des auf der Erde sich allmälig anhäufenden Wärmestoffes, aus dem gebundenen Lichte entstanden, der Erfahrung zuwider stets zunehmen müfste. Es ist dieses zwar weniger bedeutend, als bei der aus Herschel's Versuchen gefolgerten Hypothese, wonach nicht blofs eine Anhäufung der Wärme, sondern auch des Lichtes stattfinden müfste, allein der Folgerung einer bedeutenden Anhäufung von Wärme kann man doch auf keine Weise entgehen. Diesem Einwurfe zu begegnen hat man seine Zuflucht zu einer neuen Hypothese genommen, nämlich der Wärmestrahlung, welche durch die von Well's [4]) angestellten Untersuchungen über den Thau eine unerwartete Stütze zu erhalten schien. Hiernach soll die aus dem Lichte hergestellte Wärme des Nachts bei wolkenleerer Atmosphäre in die weiten leeren Himmelsräume durch Strahlung zurückgehen, und es ist dann zwar nicht deutlich ausgesprochen, wird aber doch als ziemlich nothwendige Folgerung angenommen, dafs sie auf diese Weise wieder zur Sonne gelange, um von dieser abermals der Erde zuzuströmen.

Es thut mir leid, in einer so beliebten Hypothese von den Ansichten der bedeutendsten Physiker abzuweichen, allein sie scheint mir durch das einzige Factum, nämlich die Kälte des Erdbodens bei heiterem Himmel, keineswegs genügend begründet zu seyn und noch aufserdem mit unumstöfslichen physikalischen Gesetzen in allzugrellem Widerspruche zu stehen. Die wichtigsten der lezteren sind folgende:

---

1) S. Biot Traité 605. Vergl. Pictet in Gilb. Ann. XIII. 121.

2) S. Journ. de Phys. LXXV. 201.

3) S. Parrot Entret. sur la Phys. IV. 306. Ritchie's Versuche in Phil. Trans. 1827. II. p. 13.

4) W. C. Well's Vers. über d. Thau und einige damit verbundene Erscheinungen. Ueb. von Horner. Zurich 1821. 8.

1) Das Licht soll durch die Körper zu Wärme gebunden werden, was in Folge einer Anziehung geschehen mufs, dann dieselben wieder verlassen, ohne dafs eine Ursache angegeben wird, welche jene erstere Kraft überwindet oder ihr nur einmal entgegenwirkt. Zwar hat die Wärme die Eigenschaft, durch ihre eigene Expansion den kälteren Körpern zuzuströmen, allein bei der vorliegenden Erscheinung findet gerade das entgegengesetzte Verhalten statt, indem die über dem Erdboden ruhende Luft wärmer ist und bleibt, als der Erdboden, und diesem, durch Strahlung erkalteten, daher den Thau zuführt, ja man mufs sogar zwei einander entgegengesetzte Thätigkeiten der Wärme als gleichzeitig wirksam annehmen, die eine, vermöge deren die Wärme den Erdboden verläfst, die andere, durch welche die in der Luft vorhandene, den Wasserdampf, ohngeachtet der grofsen Verwandtschaft beider zu einander, abgiebt, um nur den, ohne alle nachzuweisende Ursache daselbst entstandenen Mangel wieder zu ersetzen. Wo zeigt die Natur einen ähnlichen Widerspruch mit sich selbst? Soll aber in den heiteren Himmelsräumen eine auf so weite Entfernung wirkende Kraft vorhanden seyn, welche die Wärme der Erde anzieht, so müfste diese erst nachgewiesen, und zugleich der Grund aufgefunden werden, warum sie gerade die der Erde und nicht zugleich die der Luft wählt, die ihr doch näher, und nicht fester an Luft und Dampf, als jene an die grünende und feuchte Erde gebunden ist.

2) Die Wärme, welche den verdünnten Raum so schwierig, den absolut leeren nur strahlend, vielleicht, wenn sie dunkel ist, gar nicht durchdringt, und in der Luft sich so langsam bewegt, soll ohne eine sie reflectirende spiegelnde Fläche die Erde so schnell, oft in weniger als einer Stunde, verlassen, sich durch die dicke Lage Luft bewegen und schnell durch die höchst verdünnten Lufträume in die leeren Himmelsräume begeben. Dieses ungeachtet seines Widerstreites gegen alle bekannte Erfahrungen einstweilen zugegeben mufs sie sich dort entweder anhäufen, oder der Sonne wieder zuströmen. Das Erstere streitet gegen den ewigen Kreislauf der Dinge in der Natur, das nie fehlende Gesetz des stets sich wieder herstellenden Gleichgewichts. Will man aber das Leztere annehmen, so fehlt erstlich diejenige Kraft, welche die Wärme wieder der Sonne zuführt, und zweitens diejenige, welche ihr dort die Schnelligkeit der Bewegung giebt, um abermals als Licht zu erscheinen.

Bei so auffallenden Widersprüchen gegen die ausgemachtesten Thatsachen würde es überflüssig seyn, minder gewichtige Argumente zu häufen, um die Existenz einer noch nirgend bis in ihre Einzelheiten klar und systematisch dargelegten Strahlung der Wärme zu widerlegen. Es ließe sich indeſs die Hypothese, daſs Licht zu Wärme gebunden werde, und die Menge der lezteren auf der Erde dennoch nicht vermehrt würde, auf die Weise vertheidigen, wenn man annähme, es finde keine eigentliche Strahlung statt, sondern die Wärme steige mit der Luft und den Dämpfen nach bekannten Gesetzen in die Höhe, und verliere sich in den Himmelsräumen. Man wird indeſs zugestehen, daſs erstlich es gefährlich ist, wenn der Physiker seine Hypothese auf dasjenige hinführt, was in Räumen vorgehen soll, zu denen sein Experiment nicht gelangen kann, um seine Folgerungen zu controliren, und zweitens würde ich mich ohne die allerüberzeugendsten Beweise nicht zu der Annahme verstehen, daſs das Licht sein Wesen ändere, und für immer in Wärme verwandelt würde. Dieses muſs aber so lange angenommen werden, bis die Ursache nachgewiesen ist, welche dem langsamer bewegten, und dadurch zur Wärme umgestalteten wandelbaren Etwas, welches bald als Licht, bald als Wärme wesentlich verschiedenen Gesetzen folgt, seine Geschwindigkeit wiederzugeben vermag, damit es wieder seine Function als Licht erfülle. Gewagt ist schon an sich die Hypothese, den ganzen Unterschied zwischen Licht und Wärme auf bloſse Geschwindigkeit der Bewegung zu gründen, insbesondere wenn man das Verhalten beider ins Einzelne verfolgt.

Alle diese Betrachtungen werden indeſs überflüssig, sobald die Emanationstheorie ihre Haltbarkeit verliert, und da man wohl sagen darf, daſs in diesem Augenblicke die Undulationshypothese, obgleich noch nicht mit apodictischer Gewiſsheit begründet, immer mehr Eingang findet, und wohl ohne Zweifel bald die allein herrschende werden wird, so fällt damit die ganze Lehre von einem Uebergange des Lichtes in Wärme, von der Strahlung der lezteren gegen die leeren Himmelsräume und alles hiermit zusammenhängende von selbst weg.

Aus allen diesen Gründen scheint es, mit besonderer Rücksicht auf die Gesetze der specifischen und latenten Wärme, am angemessensten anzunehmen, daſs das Licht sowohl als die Wärme eigenthümliche und unter sich verschiedene Stoffe sind, welche aber in manchen Stücken ih-

res Verhaltens einige Aehnlichkeit unter einander haben. Schwerlich wird es hierbei genügen, die Expansion des Lichtes mit Voigt [1]) von der Wärme abzuleiten, denn abgesehen davon, daſs hiernach die eigentliche Basis des Lichtes immer unbekannt bleibt, scheint dem Lichte eine gröſsere Expansion als der Wärme selbst eigen zu seyn. Weit mehr mit der Natur der Sache übereinstimmend scheint mir die Hypothese, daſs Licht und Wärme sich wechselseitig nach den Graden ihrer Intensität ausscheiden, wofür auch die Versuche Boeckmann's entscheiden, wonach wenigstens die Metalle, durch die Sonnenstrahlen erhitzt, schneller erkalten, als wenn sie durch dunkele Wärme eine erhöhete Temperatur erhielten [2]).

Hiernach wäre die Wärme als absolut und allezeit dunkel anzunehmen, das durch sie erzeugte Licht aber als aus den Körpern ausgeschieden anzusehen, oder vielmehr ein Leuchten tritt nur dann ein, wenn irgend eine Ursache den Lichtäther in Schwingungen versetzt, diese Schwingungen aber rufen die in den Körpern vorhandene Wärme hervor, wobei die §. 86. N. 4. aufgestellte Hypothese, daſs viele Wärmephänomene gleichfalls auf Undulationen des Wärmestoffes zurückzuführen sind, sehr in Betrachtung kommt. Die Aehnlichkeiten beider Stoffe zeigen sich hauptsächlich in dem Afficirtwerden derselben durch die Oberflächen der Körper, namentlich in der Reflexion von polirten Flächen. Hierbei muſs man sehr die strahlende und zugleich leuchtende Wärme von der dunkelen unterscheiden, worauf schon Mariotte [3]) aufmerksam gemacht hat. Vorzüglich ist dieser Gegenstand untersucht durch Pictet [4]) nach welchem nicht bloſs die leuchtenden, sondern selbst die dunkelen Wärmestrahlen von spiegelnden Flächen reflectirt werden. Sehr merkwürdig ist die Beobachtung von de la Roche, daſs die Wärmestrahlen das Glas so viel leichter durchdringen, je mehr sie leuchtend sind, und daſs die durch eine Glasscheibe durchgelassenen eine zweite mit geringerem Verluste durchdringen, woraus er auf eine Art Polarisation schlieſst [5]). Uebereinstimmend hiermit fand

[1]) S. Gren n. J. III. 235.

[2]) S. Versuche über d. Wärmeleitung verschiedener Körper p. 159 ff.

[3]) S. Traité des couleurs Par. 1717. p. 288.

[4]) S. Versuch über das Feuer Cap. 3. u. an v. Orien der bibl. britannique vom J. 1800 u. ff.

[5]) S. J. d. Ph. LXXVII. 201.

Rumford [1]), dafs das Licht beim Durchgange durch eine Scheibe klares Glas 0,1973 und durch ein anderes, 0,1869 von seiner vorigen Stärke verlor, durch beide zusammen aber, statt der Summe von beiden = 0,3842, nur 0,3184. Ferner soll der polarisirte Lichtstrahl nach Berard im Maximo der Lichtstärke auch die gröfste Wärme haben, und es sollen sogar die fast dunkeln, selbst bis zu den ganz dunkelen Wärmestrahlen auf gleiche Weise als die Lichtstrahlen bei der Umdrehung des zweiten Spiegels um die polarisirten Strahlen zwei maxima und zwei minima geben. Eine grofse Aehnlichkeit beider, des Lichtes und der Wärme, ist also keineswegs zu verkennen, ohne dafs dennoch die Identität, der entscheidenden Gegengründe wegen, angenommen werden kann [2]).

[1]) S. Gren Jour. der Phys. II. 43.

[2]) Zur Literatur der Optik dienen vorzüglich: Petri Gassendi institutio astronomica cet. cui access. Galilaei nuntius sider. et Joh. Kepleri Dioptrice. Lond. 1653. Renati des Cartes specimina philosophiae cet. Amst. 1692. 4. Christiani Hugenii oposcula posthuma, quae continent Diop. L. B. 1703. 4. Gregory's elements of Catoptrics and dioptrics cet. Lond. 1735. 8. Traité d'Optique, sur la gradation de la lumiere par M. Bouguer. Par. 1760. 4. Newton Optice, sive de Reflexionibus, refractionibus, inflexionibus et coloribus lucis; libri III. auct. Newtono. lat. redd. Sam. Clarke. Lond. 1706. 4. 1719. 4; edit. nov. Laus. et Genevae. 1740. 4. Js. Newtoni opuscula math. philos. et philol. collegit Joh. Castillioneus. ib. 1744. 4. Tom. II. 75—409. Euler nova theoria lucis et colorum in opp. var arg. Berol. 1746. Dioptrice pars I, II, et III. auct. Leonhardo Eulero cet. Petrop. 1769—71. 4. Desselben lettres a une princesse d'Allemangne. 1770. 8. Uebers. mit Anmerkungen von Kries. Leipz. 1792—94. 3 vol. R. Smith vollständiger Lehrbegriff der Optik a. d. E. von Kästner. 1755. 4. Priestley Geschichte der Optik übers. von Klügel. Leipz. 1776. 4. Analytische Dioptrik u. s. w. von G. S. Klügel. Leipz. 1778. 4. De la Caille lectiones elementares opticae ex edit. Par. anni 1756 in lat. traductae; accessit brevis theoria micrometri opjectivi a R. Boscovich. Vindob. 1766. 4. Marat Entdeckungen über das Licht, aus d. Franz. von Weigel. Leipz. 1783. 8. Karsten's Lehrbegriff der gesammten Mathematik, aufs Neue herausgegeben von Mollweide. 7ter Th. 1818. Lambert photometria, s. de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Aug. Vindel. 1760. 8. Grundlehren der Photometrie oder der optischen Wissenschaften von K. C. Langsdorf Erlangen 1803—5. 2 vol. 8.

C) Elektricität und Galvanismus.

§. 150.

Eine dritte inponderabele Substanz, deren Daseyn aber nicht, wie beim Lichte, im ganzen Universum, sondern bloſs allgemein für unsern Erdball nachgewiesen werden kann, ist die Elektricität oder das elektrische Fluidum. In seiner allgemeinen Verbreitung wird dasselbe von uns nicht unmittelbar wahrgenommen, wohl aber im Zustande partieller Mittheilung oder Hervorrufung in gröſserer oder geringerer Wirksamkeit bei allen möglichen zahllosen Veränderungen der Körper, wobei es sofort wieder in den Zustand der allgemeinen und dadurch für uns nicht wahrnehmbaren Verbreitung überzugehen strebt.

Das Vorhandenseyn der Elektricität entdeckte man anfangs beim Bernstein durch das Angezogenwerden kleiner Körperchen, wenn derselbe gerieben wurde, und hielt dieses für eine, dieser Substanz eigenthümlich zukommende, dem Magnetismus ähnliche, Kraft. Von diesem Angezogenwerden (ἕλκειν ziehen, daraus ἕλκτρον das Anziehende, gemildert in die Form ἤλεκτρον) erhielt daher der Bernstein selbst und die unbekannte anziehende Potenz ihren Namen, welcher zwar dem Wesen der lezteren nicht vollkommen angemessen ist, jedoch einmal durch sein Alter hinlängliches Ansehen erhalten hat.

Die Unwägbarkeit der Elektricität hat man, so viel mir bekannt ist, noch überhaupt nicht durch Versuche zu bestimmen unternommen, und es wird dieses auch wegen der sogleich eintretenden elektrischen Anziehung sehr schwer oder ganz unmöglich seyn, der andern, aus der Sache selbst hervorgehenden, Schwierigkeiten nicht zu gedenken. Indeſs ist auch hierauf dasjenige anwendbar, was im Allgemeinen über die Inponderabilien gesagt ist. S. §. 79. Ob das elektrische Fluidum auch andern Planeten, den Trabanten und Fixsternen zugehört, oder unserer Erde ausschlieſslich eigen ist, wird schwerlich jemals auszumitteln seyn.

Man findet die Elektricität überall verbreitet, wie dieses daraus folgt, daſs sie aus allen bekannten Körpern auf die

eine oder die andere Weise hervorgerufen werden kann. Dieses Hervorrufen derselben ist indefs kein eigentliches Erzeugen, noch viel weniger eine Zusammensetzung aus gewissen Bestandtheilen, sondern ein Freimachen aus einem gewissen, nachher näher zu bezeichnenden, Zustande des Gebundenseyns. Es findet dieses bei allen Körpern in jedem beliebigen Zustande derselben statt, vermuthlich bei der gröfsten Hitze derselben und auch bei den höchsten bekannten Graden natürlicher Kälte. Dabei ist der Erdball selbst als eine unerschöpfliche Quelle von Elektricität zu betrachten, aus welchem sie in beliebiger Menge entnommen werden kann, und welchem sie bei erzeugter Spannung wieder zuzuströmen strebt, um das allgemeine Gleichgewicht jederzeit herzustellen. Dabei findet eine stete Wechselwirkung zwischen dem Erdkörper und der Atmosphäre statt, indem die Elektricität unausgesetzt in die Luft aufsteigt, wahrscheinlich hauptsächlich in Folge steter Verdampfung, und von der Luft entweder allmälig oder plötzlich im Blitze der Erde wieder zuströmt. Bis zu welcher Höhe der Atmosphäre sich dieses erstrecken mag, kann nicht wohl ausgemittelt werden, der Procefs scheint aber nur bis in die kältesten Regionen der Polarländer zu reichen, denn Parry konnte bei der Insel Mellville mit den empfindlichsten Mefswerkzeugen keine Luftelektricität wahrnehmen. Ob die Elektricität sich endlich bis in das Innerste der Erde erstreckt, oder nur die äufsere Kruste desselben einnimmt, liegt aufser den Grenzen der Erfahrung, für Lezteres scheint indefs der Umstand zu entscheiden, dafs der Blitz nicht sowohl in das Innere der Erde zu dringen strebt, als vielmehr sich auf der Oberfläche derselben ausbreitet.

So lange die um und nebeneinander befindlichen Körper sich in dem nämlichen Zustande der elektrischen Sättigung oder Neutralisation [1]) befinden, zeigen sie gar keine Spuren vorhandener Elektricität, blofs deswegen, weil jeder gegen den andern indifferent ist, ohne dafs man deswegen die Elektricität als latent betrachten darf. Dagegen treten so-

1) Beides kann man in derjenigen Verbindung, wie die Sache hier genommen wird, einander gleich setzen. Die Ursache hiervon liegt darin, dafs zwei Elektricitäten, die positive und negative einander neutralisiren, wie nachher gezeigt werden soll, hier aber vorläufig als bekannt vorausgesetzt wird. Die mit der Erde, der unerschöpflichen Quelle von Elektricität, verbundenen Körper sind daher im Zustande der Sättigung, insofern wir die Erde selbst so annehmen, zugleich aber sind sie neutral, indem sie keine elektrische Wirkungen zeigen.

gleich elektrische Erscheinungen ein, wenn der eine Körper gegen den andern elektrisch different wird, d. h. mit mehr oder weniger Electricität gesättigt ist. Aus diesem Zustande der Indifferenz in den elektrischen kommen aber die Körper durch alle erdenklichen Veränderungen, und man kann also sagen, dafs die mannigfaltigsten Ursachen eine Erregung der Elektricität herbeiführen. Dahin gehören die verschiedensten Veränderungen der Hitze und Abkühlung, z. B. beim Turmalin, dessen Verhalten hauptsächlich durch Becquerel[1]) untersucht ist, beim Borazit nach Hauy[2]) beim brasilianischen Topas, dem krystallinischen Galmei, und nach neueren Untersuchungen bei vielen Mineralien, wie namentlich Brewster[3]) gezeigt hat, selbst auch bei Metallen nach Becquerel[4]). Unter die Mittel zur Aufhebung der elektrischen Indifferenz gehören ferner das Zerbrechen, Reiben, Durchpudern feiner Substanzen durch Siebe und Zeuge, nach den Versuchen von Kortum und Wilson[5]) und den neuesten von Singer[6]) und Becquerel[7]) durch das Eintauchen einer Siegellackstange in Quecksilber, das Drücken wollener und seidener Zeuge und vieler anderer Substanzen, auch das plötzliche Trennen vollkommen krystallisirter Körper[8]). Ganz besonders ist dieses aber der Fall bei dem allgemeinen Lebens- und Vegetationsprocesse der Erde im Grofsen durch eine gewisse Wechselwirkung zwischen der Atmosphäre und dem Erdballe[9]).

Zur willkührlichen Hervorbringung starker Elektricität bedient man sich im Allgemeinen nur zweier Mittel, des *Reibens*, und der *Berührung* verschiedener Metalle. Lezteres bietet in der Anwendung Erscheinungen eigener Art dar, welche erst seit dem Anfange dieses Jahrhunderts ge-

---

1) Ann Chim. et Phys. XXXVII. 5. Vergl. Ferrussac Bullet. des Sc. math. et phys. 1828. Fevr. p. 118. Mai p. 317.

2) Journ. de Phys. XXXVIII. 323.

3) Edinb. Journ. of Sc. N. II. p. 208. Vergl. Hildebrandt Naturl. II. p. 736.

4) Ann. Chim. et Phys. XXVII. p. 14.

5) S. Voigts Magaz. X. 2. 1. Vergl. Gilb, Ann. XVII. 200. XXVIII. 211.

6) S. dessen Elektricitätslehre übers. von Müller.

7) Ann. Chim. et Phys. XXXVIII. 113.

8) S. Singer Elemente d. Elektricität und Elektrochemie d. Ue. Breslau 1819. p. 15. ff. hauptsächlich Becquerel in Ann. de Chim. et Phys. XXII. 1 ff.

9) Vergl. Gay-Lüssac in ann. de chim. et Phys. VIII. 156.

nauer bekannt, und nach ihrem Erfinder mit dem Namen *Galvanismus* belegt sind. Es ist der Sache selbst und vorzüglich der erforderlichen Apparate wegen nicht unzweckmäfsig, diese besonders zu untersuchen.

§. 151.

Das Heraustreten der Elektricität aus diesem allgemeinen Zustande des Gleichgewichts oder das partielle Vorhandenseyn derselben an einzelnen Körpern wird in sehr vielen Fällen noch jezt, und wurde in älteren Zeiten ausschliefslich wahrgenommen im Kleinsten durch das Anziehen leicht beweglicher Körper, bei gröfserer Stärke durch das Erscheinen der kleinsten bis zu den gröfsten elektrischen Funken. In manchen Fällen zeigt sich jedoch eine beträchtliche chemische Action der Elektricität, ohne dafs ihre Anwesenheit auf die angegebene Weise sichtbar wird, und nach den neuesten Entdeckungen ist die Magnetnadel das feinste Elektroskop, um die Anwesenheit auch der geringsten elektrischen Spannung anzuzeigen.

Ehemals kannte man aufser der Luftelektricität blofs die durch Reibung erzeugte. Diese und die später entdeckte, durch Erwärmung und Druck hervorgerufene, zeichnet sich durch eine bedeutend starke Spannung aus, welche sich durch das Anziehen und Abstofsen leicht beweglicher Körper äufsert. Diese Anziehung und Abstofsung leichter Körper giebt auch noch gegenwärtig ein vorzügliches Mittel ab, die Anwesenheit der Elektricität zu erkennen, um so mehr, als die hierzu dienenden Mefswerkzeuge (Elektrometer §. 156.) aufserordentlich verfeinert sind. Ob übrigens diese Anziehung und Abstofsung elektrisch oder magnetisch sey, läfst sich leicht unterscheiden, indem sie im lezteren Falle nur gewisse Substanzen afficirt §. 183., die erstere aber alle.

Seit der Entdeckung der Galvanischen Elektricität hat sich indefs ergeben, dafs sehr häufig bedeutend starke elektrische Thätigkeiten vorhanden sind, ohne eine mefsbare Spannung, also auch Anziehung und Abstofsung. Namentlich zeigt die sogenannte Berührungselektricität §. 173. bedeutende chemische Wirkungen, nach denen auf das Vor-

handenseyn einer grofsen Menge derselben geschlossen werden darf, ohne dafs die feinsten, für Reibungselektricität dienenden Elektrometer eine Spur derselben andeuten. Man suchte die Anwesenheit derselben daher früher durch ihre chemische Wirksamkeit aufzufinden, und mafs ihre Stärke nach der Stärke der lezteren. Seitdem aber der Einflufs der strömenden Elektricität auf die Magnetnadel aufgefunden ist, giebt es kein feineres Elektrometer als diese, welche die allergeringsten Spuren des aufgehobenen elektrischen Gleichgewichts erkennbar macht.

§. 152.

Wenn gleich die allgemeine Verbreitung der Elektricität und das Freiwerden derselben bei den verschiedensten Veränderungen der Körper nicht bezweifelt werden kann, so ist doch zugleich wegen der gröfseren oder geringeren Leichtigkeit, womit dieses geschieht, desgleichen wegen der Menge der wahrnehmbar gemachten Elektricität der allgemein angenommene Unterschied der Körper, wonach man sie in idioelektrische und anelektrische abtheilt, für eine sehr grofse Menge von Erscheinungen, welche der sogenannten gemeinen oder Reibungselektricität zugehören, allerdings in der Natur der Sache gegründet

So lange man keine andere Art der Hervorrufung der Elektricität kannte, als das Reiben gewisser Körper und aufserdem noch die elektrische Eigenschaft des Turmalins und einiger Fische, S. §. 171, konnte der bekannte Unterschied der Körper, wonach man sie in *idioelektrische* und *anelektrische* abtheilte, allerdings angenommen werden. Seit der Entdeckung der Volta'schen Säule aber kann derselbe nicht mehr als allgemein zuläfsig erscheinen, indem hierin gerade diejenigen Körper, die Metalle, welche sonst als die vorzüglichsten anelektrischen Körper angesehen wurden, sich als die besten elektromotorischen zeigen, und die früher sogenannten idioelektrischen ganz ohne Wirkung bleiben. Der Unterschied kann daher nur in Beziehung auf die Hervorbringung der Elektricität durch Reibung gelten. Blofs in dieser Hinsicht gehören daher vorzüglich die Metalle und feuchten Substanzen, namentlich thierische und vege-

sollten zwar zunächst nur zeigen, welche farbige Strahlen die stärkste Wärme geben, führten indefs zu dem Resultate, dafs das Licht, als solches, nicht Wärme sey, sie auch nicht selbst erzeuge, weil sonst die am stärksten leuchtenden farbigen Strahlen auch die meiste Wärme hervorrufen müfsten, sondern dafs beide, ihrem Wesen nach verschieden, in steter Begleitung gefunden würden, und dafs namentlich die von der Sonne ausgehenden Strahlen aus Licht und Wärme zugleich bestehen, im Prisma zwar gebrochen würden, die eigenthümlichen Lichtstrahlen jedoch stärker als die Wärmestrahlen. Vergleicht man, neben den Erscheinungen, welche diese Hypothese veranlafsten, zugleich das übrige Verhalten beider Potenzen, namentlich die Gesetze der Bewegung der Wärme, des specifischen und latenten Wärmestoffes u. s. w., so mufs dieselbe als sehr unnatürlich erscheinen, und kann nur dann zugelassen werden, wenn es kein anderes Mittel der Erklärung von jenen giebt. Hiernach strömte nämlich unablässig eine ungeheure Menge Wärme von der Sonne zur Erde, ja in den ganzen Himmelsraum, und ohne die Frage zu erörtern, ob eine stets unerschöpfliche Wärmequelle überhaupt denkbar sey, wird nicht einmal die zunächst liegende beantwortet, wo denn die einmal auf unserer Erde erzeugte Wärme bleibe, da sie bei Nacht und im Winter verschwindet. Es stehen indefs dieser Hypothese noch andere Gründe entgegen.

Dafs nämlich die Wärmestrahlen überhaupt eine Brechung in durchsichtigen Prismen, wie die Lichtstrahlen, erleiden sollten, oder gar eine, mit der farbigen Brechung des Lichtes harmonirende, streitet gegen das bekannte Gesetz, dafs durchsichtige Substanzen, namentlich das Glas, die strahlende Wärme nur dann überhaupt oder wenig durchlassen, wenn sie zum Leuchten übergeht, und ein Glasprisma müfste daher die ihrem Wesen nach immer dunkelen Wärmestrahlen in Begleitung der Lichtstrahlen durch seine Masse lassen, und sie erst nach dem Austritte aus dem Glase von den Lichtstrahlen trennen; die Wirkung des Glases müfste mithin erst hinter dem Glase eintreten, eine wahrhaft unnatürliche Voraussetzung. Interessant sind in dieser Hinsicht die Versuche Ruhland's, wonach das Licht, wenn es durch warme oder kalte Flüssigkeiten fällt, keine Veränderung seiner erwärmenden Kraft erleidet. Etwas Aehnliches zeigt sich, wenn man in beträchtlicher Entfernung die erwärmende Kraft des Feuers empfindet, ohne dafs die Luft bis dahin wärmer wird, mithin ohne eine eigentliche Fortpflanzung

der Wärme. Nach eigenen Beobachtungen drangen einst die wärmeerzeugenden Lichtstrahlen eines starken Feuers in einer Entfernung von 130 F. durch gefrorne Fensterscheiben, und bewirkten hinter denselben eine merkliche Erwärmung, ohne das Eis der Fensterscheiben bei — 5° im mindesten zu schmelzen. An gewisse, die Lichtstrahlen begleitende Wärmestrahlen wäre also nicht zu denken.

Um so mehr Ansehen gewinnt die Meinung derjenigen, welche die Erwärmung durch das Licht aus einem Gebundenwerden oder aus einem Uebergange desselben aus dem Zustande der gröfsten Beweglichkeit zum Zustande der Ruhe erklären wollen. Als Beweise hierfür dienen die verschiedenen Versuche, wonach die Farbe überhaupt und vorzüglich ihre Dunkelheit die erwärmende Kraft der Lichtstrahlen vermehrt, wie unter andern Franklin durch verschiedenfarbige Tuchscheiben darzuthun suchte, welche im Verhältnifs der Dunkelheit ihrer Farbe tiefer in den Schnee durch Erwärmung eingesunken waren [1]). Nach diesen und anderen, auf eine Identität von Licht und Wärme hinführenden Erscheinungen sind mehrere Gelehrte geneigt, beide für gleich zu halten, unter andern Link [2]), Berthollet [3]), Dizé [4]), Prechtl [5]). Vor allen andern hat Biot [6]) neuerdings diese Hypothese in ihrer ganzen Ausdehnung auf das bestimmteste ausgesprochen. Dieser berühmte Physiker sagt unter andern: *La transmission plus abondante à mesure que le rayonnement calorifique s'approche de l'état de lumière semble indiquer le progrés d'un même phénomène qui, dans ses modifications diverses agit sur nous inégalement, comme si les émanations calorifiques n'etoient que de la lumière obscure, et la lumière du calorique lumineux.* Allein hiergegen streitet zunächst, dafs die in unmefsbarer Geschwindigkeit sich bewegenden dunkeln Wärmestrahlen, wenn sie durch Hohlspiegel reflectirt werden, dieser ihrer Ge-

---

[1]) S. Franklin letters on phil. subj. 56. Aehnliche Erscheinungen erzählen Pictet Vers. über das Feuer §. 83. Saussure Reise durch die Alpen IV. 109. vorzüglich C. W. Boeckmann über die Erwärmung verschiedener Körper durch die Sonnenstrahlen. Carlsr. 1811.

[2]) Beiträge zur Phys. und Chemie; II. u. III.

[3]) Statique chimique I. 194.

[4]) J. d. ph. VI. 177. Gilb. Ann. IV. 410.

[5]) Gilb. Ann. XX. 305. Vergl. Davy's Hyppthesen über Licht, Wärme u. Elektricität ebend. XII. 546. ff.

[6]) Traité IV. p. 612 u. a. a. O.

schwindigkeit ungeachtet nicht leuchten [1]), desgleichen die Beobachtung von de la Roche, welcher gefunden hat, dafs die Wärmestrahlen bis zum Siedepuncte des Wassers selbst von dem dünnsten Glase nicht durchgelassen werden [2]), so wie auch dafs die Wärmestrahlen durch dickeres aber durchsichtigeres Glas weniger leicht, als durch dünneres undurchsichtiges dringen, endlich aufser mehreren andern Gründen, dafs das geringe Licht der Flamme des Knallgasgebläses eine so aufserordentliche Hitze erzeugt, da es obendrein bläulich und nicht röthlich ist [3]).

Als ein gewichtiges Argument steht dieser Hypothese im Ganzen ferner entgegen, dafs die Menge des auf der Erde sich allmälig anhäufenden Wärmestoffes, aus dem gebundenen Lichte entstanden, der Erfahrung zuwider stets zunehmen müfste. Es ist dieses zwar weniger bedeutend, als bei der aus Herschel's Versuchen gefolgerten Hypothese, wonach nicht blofs eine Anhäufung der Wärme, sondern auch des Lichtes stattfinden müfste, allein der Folgerung einer bedeutenden Anhäufung von Wärme kann man doch auf keine Weise entgehen. Diesem Einwurfe zu begegnen hat man seine Zuflucht zu einer neuen Hypothese genommen, nämlich der Wärmestrahlung, welche durch die von Well's [4]) angestellten Untersuchungen über den Thau eine unerwartete Stütze zu erhalten schien. Hiernach soll die aus dem Lichte hergestellte Wärme des Nachts bei wolkenleerer Atmosphäre in die weiten leeren Himmelsräume durch Strahlung zurückgehen, und es ist dann zwar nicht deutlich ausgesprochen, wird aber doch als ziemlich nothwendige Folgerung angenommen, dafs sie auf diese Weise wieder zur Sonne gelange, um von dieser abermals der Erde zuzuströmen.

Es thut mir leid, in einer so beliebten Hypothese von den Ansichten der bedeutendsten Physiker abzuweichen, allein sie scheint mir durch das einzige Factum, nämlich die Kälte des Erdbodens bei heiterem Himmel, keineswegs genügend begründet zu seyn und noch aufserdem mit unumstöfslichen physikalischen Gesetzen in allzugrellem Widerspruche zu stehen. Die wichtigsten der lezteren sind folgende:

[1]) S. Biot Traité 605. Vergl. Pictet in Gilb. Ann. XIII. 121.

[2]) S. Journ. de Phys. LXXV. 201.

[3]) S. Parrot Entret. sur la Phys. IV. 306. Ritchie's Versuche in Phil. Trans. 1827. II. p. 131.

[4]) W. C. Well's Vers. über d. Thau und einige damit verbundene Erscheinungen. Ueb. von Horner. Zurich 1821. 8.

1) Das Licht soll durch die Körper zu Wärme gebunden werden, was in Folge einer Anziehung geschehen mufs, dann dieselben wieder verlassen, ohne dafs eine Ursache angegeben wird, welche jene erstere Kraft überwindet oder ihr nur einmal entgegenwirkt. Zwar hat die Wärme die Eigenschaft, durch ihre eigene Expansion den kälteren Körpern zuzuströmen, allein bei der vorliegenden Erscheinung findet gerade das entgegengesetzte Verhalten statt, indem die über dem Erdboden ruhende Luft wärmer ist und bleibt, als der Erdboden, und diesem, durch Strahlung erkalteten, daher den Thau zuführt, ja man mufs sogar zwei einander entgegengesetzte Thätigkeiten der Wärme als gleichzeitig wirksam annehmen, die eine, vermöge deren die Wärme den Erdboden verläfst, die andere, durch welche die in der Luft vorhandene, den Wasserdampf, ohngeachtet der grofsen Verwandtschaft beider zu einander, abgiebt, um nur den, ohne alle nachzuweisende Ursache daselbst entstandenen Mangel wieder zu ersetzen. Wo zeigt die Natur einen ähnlichen Widerspruch mit sich selbst? Soll aber in den heiteren Himmelsräumen eine auf so weite Entfernung wirkende Kraft vorhanden seyn, welche die Wärme der Erde anzieht, so müfste diese erst nachgewiesen, und zugleich der Grund aufgefunden werden, warum sie gerade die der Erde und nicht zugleich die der Luft wählt, die ihr doch näher, und nicht fester an Luft und Dampf, als jene an die grünende und feuchte Erde gebunden ist.

2) Die Wärme, welche den verdünnten Raum so schwierig, den absolut leeren nur strahlend, vielleicht, wenn sie dunkel ist, gar nicht durchdringt, und in der Luft sich so langsam bewegt, soll ohne eine sie reflectirende spiegelnde Fläche die Erde so schnell, oft in weniger als einer Stunde, verlassen, sich durch die dicke Lage Luft bewegen und schnell durch die höchst verdünnten Lufträume in die leeren Himmelsräume begeben. Dieses ungeachtet seines Widerstreites gegen alle bekannte Erfahrungen einstweilen zugegeben mufs sie sich dort entweder anhäufen, oder der Sonne wieder zuströmen. Das Erstere streitet gegen den ewigen Kreislauf der Dinge in der Natur, das nie fehlende Gesetz des stets sich wieder herstellenden Gleichgewichts. Will man aber das Leztere annehmen, so fehlt erstlich diejenige Kraft, welche die Wärme wieder der Sonne zuführt, und zweitens diejenige, welche ihr dort die Schnelligkeit der Bewegung giebt, um abermals als Licht zu erscheinen.

Bei so auffallenden Widersprüchen gegen die ausgemachtesten Thatsachen würde es überflüssig seyn, minder gewichtige Argumente zu häufen, um die Existenz einer noch nirgend bis in ihre Einzelheiten klar und systematisch dargelegten Strahlung der Wärme zu widerlegen. Es ließe sich indeſs die Hypothese, daſs Licht zu Wärme gebunden werde, und die Menge der lezteren auf der Erde dennoch nicht vermehrt würde, auf die Weise vertheidigen, wenn man annähme, es finde keine eigentliche Strahlung statt, sondern die Wärme steige mit der Luft und den Dämpfen nach bekannten Gesetzen in die Höhe, und verliere sich in den Himmelsräumen. Man wird indeſs zugestehen, daſs erstlich es gefährlich ist, wenn der Physiker seine Hypothese auf dasjenige hinführt, was in Räumen vorgehen soll, zu denen sein Experiment nicht gelangen kann, um seine Folgerungen zu controliren, und zweitens würde ich mich ohne die allerüberzeugendsten Beweise nicht zu der Annahme verstehen, daſs das Licht sein Wesen ändere, und für immer in Wärme verwandelt würde. Dieses muſs aber so lange angenommen werden, bis die Ursache nachgewiesen ist, welche dem langsamer bewegten, und dadurch zur Wärme umgestalteten wandelbaren Etwas, welches bald als Licht, bald als Wärme wesentlich verschiedenen Gesetzen folgt, seine Geschwindigkeit wiederzugeben vermag, damit es wieder seine Function als Licht erfülle. Gewagt ist schon an sich die Hypothese, den ganzen Unterschied zwischen Licht und Wärme auf bloſse Geschwindigkeit der Bewegung zu gründen, insbesondere wenn man das Verhalten beider ins Einzelne verfolgt.

Alle diese Betrachtungen werden indeſs überflüssig, sobald die Emanationstheorie ihre Haltbarkeit verliert, und da man wohl sagen darf, daſs in diesem Augenblicke die Undulationshypothese, obgleich noch nicht mit apodictischer Gewiſsheit begründet, immer mehr Eingang findet, und wohl ohne Zweifel bald die allein herrschende werden wird, so fällt damit die ganze Lehre von einem Uebergange des Lichtes in Wärme, von der Strahlung der lezteren gegen die leeren Himmelsräume und alles hiermit zusammenhängende von selbst weg.

Aus allen diesen Gründen scheint es, mit besonderer Rücksicht auf die Gesetze der specifischen und latenten Wärme, am angemessensten anzunehmen, daſs das Licht sowohl als die Wärme eigenthümliche und unter sich verschiedene Stoffe sind, welche aber in manchen Stücken äh-

res Verhaltens einige Aehnlichkeit unter einander haben. Schwerlich wird es hierbei genügen, die Expansion des Lichtes mit Voigt [1]) von der Wärme abzuleiten, denn abgesehen davon, daſs hiernach die eigentliche Basis des Lichtes immer unbekannt bleibt, scheint dem Lichte eine gröſsere Expansion als der Wärme selbst eigen zu seyn. Weit mehr mit der Natur der Sache übereinstimmend scheint mir die Hypothese, daſs Licht und Wärme sich wechselseitig nach den Graden ihrer Intensität ausscheiden, wofür auch die Versuche Boeckmann's entscheiden, wonach wenigstens die Metalle, durch die Sonnenstrahlen erhitzt, schneller erkalten, als wenn sie durch dunkele Wärme eine erhöhete Temperatur erhielten [2]).

Hiernach wäre die Wärme als absolut und allezeit dunkel anzunehmen, das durch sie erzeugte Licht aber als aus den Körpern ausgeschieden anzusehen, oder vielmehr ein Leuchten tritt nur dann ein, wenn irgend eine Ursache den Lichtäther in Schwingungen versetzt, diese Schwingungen aber rufen die in den Körpern vorhandene Wärme hervor, wobei die §. 86. N. 4. aufgestellte Hypothese, daſs viele Wärmephänomene gleichfalls auf Undulationen des Wärmestoffes zurückzuführen sind, sehr in Betrachtung kommt. Die Aehnlichkeiten beider Stoffe zeigen sich hauptsächlich in dem Afficirtwerden derselben durch die Oberflächen der Körper, namentlich in der Reflexion von polirten Flächen. Hierbei muſs man sehr die strahlende und zugleich leuchtende Wärme von der dunkelen unterscheiden, worauf schon Mariotte [3]) aufmerksam gemacht hat. Vorzüglich ist dieser Gegenstand untersucht durch Pictet [4]) nach welchem nicht bloſs die leuchtenden, sondern selbst die dunkelen Wärmestrahlen von spiegelnden Flächen reflectirt werden. Sehr merkwürdig ist die Beobachtung von de la Roche, daſs die Wärmestrahlen das Glas so viel leichter durchdringen, je mehr sie leuchtend sind, und daſs die durch eine Glasscheibe durchgelassenen eine zweite mit geringerem Verluste durchdringen, woraus er auf eine Art Polarisation schlieſst [5]). Uebereinstimmend hiermit fand

[1]) S. Gren n. J. III. 235.

[2]) S. Versuche über d. Wärmeleitung verschiedener Körper p. 159 ff.

[3]) S. Traité des couleurs Par. 1777. p. 288.

[4]) S. Versuch über das Feuer Cap. 3. u. an v. Orien der bibl. britannique vom J. 1800 u. ff.

[5]) S. J. d. Ph. LXXVII. 291.

Rumford [1]), dafs das Licht beim Durchgange durch eine Scheibe klares Glas 0,1973 und durch ein anderes, 0,1869 von seiner vorigen Stärke verlor, durch beide zusammen aber, statt der Summe von beiden = 0,3842, nur 0,3184. Ferner soll der polarisirte Lichtstrahl nach Berard im Maximo der Lichtstärke auch die gröfste Wärme haben, und es sollen sogar die fast dunkeln, selbst bis zu den ganz dunkelen Wärmestrahlen auf gleiche Weise als die Lichtstrahlen bei der Umdrehung des zweiten Spiegels um die polarisirten Strahlen zwei maxima und zwei minima geben. Eine grofse Aehnlichkeit beider, des Lichtes und der Wärme, ist also keineswegs zu verkennen, ohne dafs dennoch die Identität, der entscheidenden Gegengründe wegen, angenommen werden kann [2]).

---

1) S. Gren Jour. der Phys. II. 43.

2) Zur Literatur der Optik dienen vorzüglich: Petri Gassendi institutio astronomica cet. cui access. Galilaei nuntius sider. et Joh. Kepleri Dioptrice. Lond. 1653. Renati des Cartes specimina philosophiae cet. Amst. 1692. 4. Christiani Hugenii oposcula posthuma, quae continent Diop. L. B. 1703. 4. Gregory's elements of Catoptrics and dioptrics cet. Lond. 1735. 8. Traité d'Optique, sur la gradation de la lumiere par M. Bouguer. Par. 1760. 4. Newton Optice, sive de Reflexionibus, refractionibus, inflexionibus et coloribus lucis; libri III. auct. Newtono. lat. redd. Sam. Clarke. Lond. 1706. 4-1719. 4; edit. nov. Laus. et Genevae. 1740. 4. Js. Newtoni opuscula math. philos. et philol. collegit Joh. Castillioneus. ib. 1744. 4. Tom. II. 75—409. Euler nova theoria lucis et colorum in opp. var arg. Berol. 1746. Dioptrice pars I, II, et III. auct. Leonhardo Eulero cet. Petrop. 1769—71. 4. Desselben lettres a une princesse d'Allemangne. 1770. 8. Uebers. mit Anmerkungen von Kries. Leipz. 1792—94. 3 vol. R. Smith vollständiger Lehrbegriff der Optik a. d. E. von Kästner. 1755. 4. Priestley Geschichte der Optik übers. von Klügel. Leipz. 1776. 4. Analytische Dioptrik u. s. w. von G. S. Klügel. Leipz. 1778. 4. De la Caille lectiones elementares opticae ex edit. Par. anni 1756 in lat. traductae; accessit brevis theoria micrometri opjectivi a R. Boscovich. Vindob. 1766. 4. Marat Entdeckungen über das Licht, aus d. Franz. von Weigel. Leipz. 1783. 8. Karsten's Lehrbegriff der gesammten Mathematik, aufs Neue herausgegeben von Mollweide. 7ter Th. 1818. Lambert photometria, s. de mensure et gradibus luminis, colorum et umbrae. Aug. Vindel. 1760. 8. Grundlehren der Photometrie oder der optischen Wissenschaften von K. C. Langsdorf Erlangen 1803—5. 2 vol 8.

C) Elektricität und Galvanismus.

§. 150.

Eine dritte inponderabele Substanz, deren Daseyn aber nicht, wie beim Lichte, im ganzen Universum, sondern blofs allgemein für unsern Erdball nachgewiesen werden kann, ist die Elektricität oder das elektrische Fluidum. In seiner allgemeinen Verbreitung wird dasselbe von uns nicht unmittelbar wahrgenommen, wohl aber im Zustande partieller Mittheilung oder Hervorrufung in gröfserer oder geringerer Wirksamkeit bei allen möglichen zahllosen Veränderungen der Körper, wobei es sofort wieder in den Zustand der allgemeinen und dadurch für uns nicht wahrnehmbaren Verbreitung überzugehen strebt.

Das Vorhandenseyn der Elektricität entdeckte man anfangs beim Bernstein durch das Angezogenwerden kleiner Körperchen, wenn derselbe gerieben wurde, und hielt dieses für eine, dieser Substanz eigenthümlich zukommende, dem Magnetismus ähnliche, Kraft. Von diesem Angezogenwerden (ἕλκειν ziehen, daraus ἕλκτρον das Anziehende, gemildert in die Form ἤλεκτρον) erhielt daher der Bernstein selbst und die unbekannte anziehende Potenz ihren Namen, welcher zwar dem Wesen der lezteren nicht vollkommen angemessen ist, jedoch einmal durch sein Alter hinlängliches Ansehen erhalten hat.

Die Unwägbarkeit der Elektricität hat man, so viel mir bekannt ist, noch überhaupt nicht durch Versuche zu bestimmen unternommen, und es wird dieses auch wegen der sogleich eintretenden elektrischen Anziehung sehr schwer oder ganz unmöglich seyn, der andern, aus der Sache selbst hervorgehenden, Schwierigkeiten nicht zu gedenken. Indefs ist auch hierauf dasjenige anwendbar, was im Allgemeinen über die Inponderabilien gesagt ist. S. §. 79. Ob das elektrische Fluidum auch andern Planeten, den Trabanten und Fixsternen zugehört, oder unserer Erde ausschliefslich eigen ist, wird schwerlich jemals auszumitteln seyn.

Man findet die Elektricität überall verbreitet, wie dieses daraus folgt, dafs sie aus allen bekannten Körpern auf die

eine oder die andere Weise hervorgerufen werden kann. Dieses Hervorrufen derselben ist indefs kein eigentliches Erzeugen, noch viel weniger eine Zusammensetzung aus gewissen Bestandtheilen, sondern ein Freimachen aus einem gewissen, nachher näher zu bezeichnenden, Zustande des Gebundenseyns. Es findet dieses bei allen Körpern in jedem beliebigen Zustande derselben statt, vermuthlich bei der gröfsten Hitze derselben und auch bei den höchsten bekannten Graden natürlicher Kälte. Dabei ist der Erdball selbst als eine unerschöpfliche Quelle von Elektricität zu betrachten, aus welchem sie in beliebiger Menge entnommen werden kann, und welchem sie bei erzeugter Spannung wieder zuzuströmen strebt, um das allgemeine Gleichgewicht jederzeit herzustellen. Dabei findet eine stete Wechselwirkung zwischen dem Erdkörper und der Atmosphäre statt, indem die Elektricität unausgesetzt in die Luft aufsteigt, wahrscheinlich hauptsächlich in Folge steter Verdampfung, und von der Luft entweder allmälig oder plötzlich im Blitze der Erde wieder zuströmt. Bis zu welcher Höhe der Atmosphäre sich dieses erstrecken mag, kann nicht wohl ausgemittelt werden, der Procefs scheint aber nur bis in die kältesten Regionen der Polarländer zu reichen, denn Parry konnte bei der Insel Mellville mit den empfindlichsten Mefswerkzeugen keine Luftelektricität wahrnehmen. Ob die Elektricität sich endlich bis in das Innerste der Erde erstreckt, oder nur die äufsere Kruste desselben einnimmt, liegt aufser den Grenzen der Erfahrung, für Lezteres scheint indefs der Umstand zu entscheiden, dafs der Blitz nicht sowohl in das Innere der Erde zu dringen strebt, als vielmehr sich auf der Oberfläche derselben ausbreitet.

So lange die um und nebeneinander befindlichen Körper sich in dem nämlichen Zustande der elektrischen Sättigung oder Neutralisation [1]) befinden, zeigen sie gar keine Spuren vorhandener Elektricität, blofs deswegen, weil jeder gegen den andern indifferent ist, ohne dafs man deswegen die Elektricität als latent betrachten darf. Dagegen treten so-

1) Beides kann man in derjenigen Verbindung, wie die Sache hier genommen wird, einander gleich setzen. Die Ursache hiervon liegt darin, dafs zwei Elektricitäten, die positive und negative einander neutralisiren, wie nachher gezeigt werden soll, hier aber vorläufig als bekannt vorausgesetzt wird. Die mit der Erde, der unerschöpflichen Quelle von Elektricität, verbundenen Körper sind daher im Zustande der Sättigung, insofern wir die Erde selbst so annehmen, zugleich aber sind sie neutral, indem sie keine elektrische Wirkungen zeigen.

gleich elektrische Erscheinungen ein, wenn der eine Körper gegen den andern elektrisch different wird, d. h. mit mehr oder weniger Electricität gesättigt ist. Aus diesem Zustande der Indifferenz in den elektrischen kommen aber die Körper durch alle erdenklichen Veränderungen, und man kann also sagen, dafs die mannigfaltigsten Ursachen eine Erregung der Elektricität herbeiführen. Dahin gehören die verschiedensten Veränderungen der Hitze und Abkühlung, z. B. beim Turmalin, dessen Verhalten hauptsächlich durch Becquerel[1]) untersucht ist, beim Borazit nach Hauy[2]) beim brasilianischen Topas, dem krystallinischen Galmei, und nach neueren Untersuchungen bei vielen Mineralien, wie namentlich Brewster[3]) gezeigt hat, selbst auch bei Metallen nach Becquerel[4]). Unter die Mittel zur Aufhebung der elektrischen Indifferenz gehören ferner das Zerbrechen, Reiben, Durchpudern feiner Substanzen durch Siebe und Zeuge, nach den Versuchen von Kortum und Wilson[5]) und den neuesten von Singer[6]) und Becquerel[7]) durch das Eintauchen einer Siegellackstange in Quecksilber, das Drücken wollener und seidener Zeuge und vieler anderer Substanzen, auch das plötzliche Trennen vollkommen krystallisirter Körper[8]). Ganz besonders ist dieses aber der Fall bei dem allgemeinen Lebens- und Vegetationsprocesse der Erde im Grofsen durch eine gewisse Wechselwirkung zwischen der Atmosphäre und dem Erdballe[9]).

Zur willkührlichen Hervorbringung starker Elektricität bedient man sich im Allgemeinen nur zweier Mittel, des *Reibens*, und der *Berührung* verschiedener Metalle. Lezteres bietet in der Anwendung Erscheinungen eigener Art dar, welche erst seit dem Anfange dieses Jahrhunderts ge-

---

1) Ann Chim. et Phys. XXXVII. 5. Vergl. Ferrussac Bullet. des Sc. math. et phys. 1828. Fevr. p. 118. Mai p. 317.

2) Journ. de Phys. XXXVIII. 323.

3) Edinb. Journ. of Sc. N. II. p. 208. Vergl. Hildebrandt Naturl. II. p. 736.

4) Ann. Chim. et Phys. XXVII. p. 14.

5) S. Voigts Magaz. X. 2. 1. Vergl. Gilb, Ann. XVII. 200. XXVIII. 211.

6) S. dessen Elektricitätslehre übers. von Müller.

7) Ann. Chim. et Phys. XXXVIII. 113.

8) S. Singer Elemente d. Elektricität und Elektrochemie d. Ue. Breslau 1819. p. 15. ff. hauptsächlich Becquerel in Ann. de Chim. et Phys. XXII. 1 ff.

9) Vergl. Gay-Lüssac in ann. de chim. et Phys. VIII. 156.

nauer bekannt, und nach ihrem Erfinder mit dem Namen *Galvanismus* belegt sind. Es ist der Sache selbst und vorzüglich der erforderlichen Apparate wegen nicht unzweckmäfsig, diese besonders zu untersuchen.

§. 151.

Das Heraustreten der Elektricität aus diesem allgemeinen Zustande des Gleichgewichts oder das partielle Vorhandenseyn derselben an einzelnen Körpern wird in sehr vielen Fällen noch jezt, und wurde in älteren Zeiten ausschliefslich wahrgenommen im Kleinsten durch das Anziehen leicht beweglicher Körper, bei gröfserer Stärke durch das Erscheinen der kleinsten bis zu den gröfsten elektrischen Funken. In manchen Fällen zeigt sich jedoch eine beträchtliche chemische Action der Elektricität, ohne dafs ihre Anwesenheit auf die angegebene Weise sichtbar wird, und nach den neuesten Entdeckungen ist die Magnetnadel das feinste Elektroskop, um die Anwesenheit auch der geringsten elektrischen Spannung anzuzeigen.

Ehemals kannte man aufser der Luftelektricität blofs die durch Reibung erzeugte. Diese und die später entdeckte, durch Erwärmung und Druck hervorgerufene, zeichnet sich durch eine bedeutend starke Spannung aus, welche sich durch das Anziehen und Abstofsen leicht beweglicher Körper äufsert. Diese Anziehung und Abstofsung leichter Körper giebt auch noch gegenwärtig ein vorzügliches Mittel ab, die Anwesenheit der Elektricität zu erkennen, um so mehr, als die hierzu dienenden Mefswerkzeuge (Elektrometer §. 156.) aufserordentlich verfeinert sind. Ob übrigens diese Anziehung und Abstofsung elektrisch oder magnetisch sey, läfst sich leicht unterscheiden, indem sie im lezteren Falle nur gewisse Substanzen afficirt §. 183., die erstere aber alle.

Seit der Entdeckung der Galvanischen Elektricität hat sich indefs ergeben, dafs sehr häufig bedeutend starke elektrische Thätigkeiten vorhanden sind, ohne eine mefsbare Spannung, also auch Anziehung und Abstofsung. Namentlich zeigt die sogenannte Berührungselektricität §. 173. bedeutende chemische Wirkungen, nach denen auf das Vor-

handenseyn einer grofsen Menge derselben geschlossen werden darf, ohne dafs die feinsten, für Reibungselektricität dienenden Elektrometer eine Spur derselben andeuten. Man suchte die Anwesenheit derselben daher früher durch ihre chemische Wirksamkeit aufzufinden, und mafs ihre Stärke nach der Stärke der lezteren. Seitdem aber der Einflufs der strömenden Elektricität auf die Magnetnadel aufgefunden ist, giebt es kein feineres Elektrometer als diese, welche die allergeringsten Spuren des aufgehobenen elektrischen Gleichgewichts erkennbar macht.

§. 152.

Wenn gleich die allgemeine Verbreitung der Elektricität und das Freiwerden derselben bei den verschiedensten Veränderungen der Körper nicht bezweifelt werden kann, so ist doch zugleich wegen der gröfseren oder geringeren Leichtigkeit, womit dieses geschieht, desgleichen wegen der Menge der wahrnehmbar gemachten Elektricität der allgemein angenommene Unterschied der Körper, wonach man sie in idioelektrische und anelektrische abtheilt, für eine sehr grofse Menge von Erscheinungen, welche der sogenannten gemeinen oder Reibungselektricität zugehören, allerdings in der Natur der Sache gegründet

So lange man keine andere Art der Hervorrufung der Elektricität kannte, als das Reiben gewisser Körper und aufserdem noch die elektrische Eigenschaft des Turmalins und einiger Fische, S. §. 171, konnte der bekannte Unterschied der Körper, wonach man sie in *idioelektrische* und *anelektrische* abtheilte, allerdings angenommen werden. Seit der Entdeckung der Volta'schen Säule aber kann derselbe nicht mehr als allgemein zuläfsig erscheinen, indem hierin gerade diejenigen Körper, die Metalle, welche sonst als die vorzüglichsten anelektrischen Körper angesehen wurden, sich als die besten elektromotorischen zeigen, und die früher sogenannten idioelektrischen ganz ohne Wirkung bleiben. Der Unterschied kann daher nur in Beziehung auf die Hervorbringung der Elektricität durch Reibung gelten. Blofs in dieser Hinsicht gehören daher vorzüglich die Metalle und feuchten Substanzen, namentlich thierische und vege-

tabilische Stoffe, unter die anelektrischen Körper, weil sie durch Reibung nur unmerklich elektrisch werden [1]). Diejenigen idioelektrischen Körper dagegen, deren man sich vorzugsweise zur Hervorbringung der Elektricität durch Reibung bedient, sind Glas, Harze, Schwefel, Seide, gedörrtes Holz, wollene Zeuge u. dgl.

§. 153.

Weit wesentlicher und in der Anwendung fruchtbarer ist die Unterscheidung der Körper hinsichtlich ihres Fortleitungs- und Durchleitungs-Vermögens, wonach man sie in Leiter und Nichtleiter abtheilt. Diese Fähigkeit wird sehr durch die veränderliche Beschaffenheit derselben modificirt. Wenn übrigens die besten Nichtleiter der Elektricität dennoch den Durchgang, wenigstens der gemeinen Elektricität, ungehindert zu verstatten scheinen, so beruhet dieses auf einem anderweitigen nicht unwichtigen Verhältnifs.

Unter die *Nichtleiter* für die Elektricität, welche ihr weder den Durchgang durch ihre Masse noch die freie Verbreitung auf ihrer Oberfläche verstatten, gehören vorzüglich Schellack, am besten die etwas bräunlichen Stücke, alle Harze, Schwefel, Gagat, Wachs und die fetten Oele, ferner Seide, Haare und Federn, das Glas und alle Verglasungen, durchsichtige Edelsteine, trockner Kalk, Talg und die Metalloxyde, gedörrete vegetabilische Substanzen, auch Pergament und Leder, Asche, Phosphor, Kampfer, die trocknen Gasarten und das Eis unter — 25° C. Unter diesen genannten ist das Schellack der vollkommenste Nichtleiter. Es läfst sich dasselbe an der Lichtflamme oder über Kohlen erweichen und in lange, dünne Stangen ausziehen, an welche man kleine Metallknöpfchen oder Kugeln befestigt, um mittelst derselben die Elektricität von einem Körper zum andern überzutragen. Das Glas ist fast auf gleiche Weise nichtleitend als das Schellack, jedoch giebt es ausnahmsweise unter beiden unvollkommene Nichtleiter und selbst minder vollkommene Leiter. Auf allen Fall darf zur Isolirung nur massives Glas genommen werden, denn Röhren haben in-

[1]) S. Herbert theoria phaenom. electricitatis. Viennae 1778. 4. Hauy in Ann. du Mus. d'hist. nat. III. p. 30[?].

wendig leicht Feuchtigkeit, und werden dadurch leitend [1]). Aus gleicher Ursache überzieht man Gläser, welche isoliren sollen, mit einem geistigen Harzfirnisse oder mit Siegellack in Weingeist aufgelöset. Hauptsächlich überzieht man die feinen, zum Isoliren bestimmten Glasstängelchen damit [2]).

Unter die Leiter gehören die regulinischen Metalle, Kohle, Graphit, viele Erd- und Steinarten, die Salze, alle nicht fette Flüssigkeiten, alle glühende, geschmolzene und alle feuchte Substanzen, die Dämpfe und die verdünnte Luft. Das Wasser wird zuweilen für einen vorzüglich guten Leiter gehalten, weil alle feuchte Körper solche sind. Dieses ist aber keineswegs der Fall, vielmehr setzt es dem Durchströmen der Elektricität grofse Hindernisse entgegen, obgleich sich dieselbe auf seiner Oberfläche leicht ausbreitet. Vergl. §. 170. Die Metalle leiten nach van Marum in abnehmender Stärke: Kupfer, Gold, Silber, Messing, Eisen, Zinn, Blei, Zink u. s. w. Weil übrigens die Leitungsfähigkeit sehr verschieden ist, so unterscheidet man vollkommene und unvollkommene, oder *Halbleiter*. Es ergiebt sich hieraus zugleich, dafs die nämlichen Substanzen unter verschiedenen Bedingungen bald Leiter, bald Nichtleiter sind, z. B. geschmolzenes Harz, flüssiger Schwefel und glühendes Glas sind Leiter, in mittlerer Temperatur sind sie sehr vollkommene Nichtleiter. Ein auf irgend eine physische Eigenschaft der Körper gebauetes allgemeines Gesetz der Leitung und Nichtleitung ist noch nicht aufgefunden [3]).

Ist ein Körper blofs von Nichtleitern umgeben, so heifst er *isolirt*. Die vollkommenste Isolation giebt die dunkelbräunliche Sorte Schellack [4]), indefs nimmt man wegen der Zerbrechlichkeit dieser Substanz meistens Glas, und überzieht dieses zur Abhaltung der Feuchtigkeit mit aufgelösetem Siegellack oder Schellack.

Legt man auf ein empfindliches Elektrometer eine Scheibe von Harz oder Glas, und nähert dieser, wie grofs sie auch seyn mag, einen elektrischen Körper, so wird das Elektrometer die Wirkung eben so anzeigen, als ob die Scheibe

---

[1]) Vermuthlich entstand hieraus der Irrthum, Glasröhren für gute Leiter zu halten. S. Gilb. Ann. XXIV. p. 325.

[2]) Vergl. Achard phys. chem. Schriften. p. 18.

[3]) Ueber die Leitungsfähigkeit der Metalle für galvanische Elektricität, welche wahrscheinlich mit der hier betrachteten gleichartig ist, S. §. 173, und über eine eigenthümliche Modification d. Leitungsvermögens §. 178.

[4]) S. Biot Traité II. 221.

nicht dazwischen wäre. Hierin kommen also diese Körper mit dem Verhalten der atmosphärischen Luft überein, mit dem Unterschiede, daſs die leztere durch die Elektricität leichter durchbrochen wird, wenn sie in Funken von einem Körper zum andern übergeht. Die Erklärung dieses, mit der gewöhnlichen Ansicht der Nichtleitung oder Isolirung nicht verträglichen Versuches S. §. 160.

§. 154.

Das Hervorbringen, oder Freimachen der Elektricität geschieht im Kleinen durch bloſses Reiben einer Stange Siegellack oder Schwefel oder einer Glasröhre. Verlangt man stärkere Wirkungen, so bedient man sich der Maschine, welche aus dem geriebenen idioelektrischen Körper, dem Reibzeuge und einem Conductor mit den erforderlichen Saugspitzen zum Auffangen des elektrischen Fluidums bestehen.

Um die Eigenthümlichkeiten der Elektricität im Kleinen und ihre Gesetze zu prüfen kann man sich mit Vortheil kleiner Massen sogenannter idioelektrischer Substanzen, als Glasröhren, Siegellackstangen, Bernsteinkugeln u. s. w. bedienen. Die Maschinen haben den Zweck, theils gröſsere Massen zu reiben, theils das Reiben selbst mit mehr Bequemlichkeit und gröſserer Geschwindigkeit zu verrichten.

Die verschiedenen, früherhin zur Construction der Elektrisirmaschinen vorgeschlagenen Substanzen, als Schwefelkugeln nach Otto von Guericke, gedörrtes Holz nach Pickel [1], Scheiben von Gummilack nach van Marum, gefirniſste Pappscheiben nach Ingenhouſs, Taffent nach Walkier's de St. Amand und Rouland [2], Wollenzeug nach Lichtenberg [3] u. a. m. werden gegenwärtig nicht mehr in Anwendung gebracht. Vielmehr nimmt man als idioelektrischen Körper bloſs Glas (blaues, grünliches, oder weiſses, indem bei der erforderlichen Härte und Reinheit desselben die Farbe keinen Unterschied macht), in der Form von Kugeln, häufiger von Cylindern oder Scheiben. Die ersteren mit Harz auszugieſsen oder durch eine Oeffnung

---

1) S. exper. phys. med. de electr. Vireeb. 1778.

2) S. Lichtenberg Mag. III. 118. Gilb. Ann. XXIII. 308.

3) S. Magaz. I. 83.

die äuſsere Luft mit der inneren stets im Gleichgewichte zu erhalten ist mehr nachtheilig, als vortheilhaft. Eine metallene, durchgehende Axe ist schädlich, und soll dabei die durchschlagende Elektricität das Glas mit kleinen Löchelchen durchbohren, eine hölzerne dagegen nicht, jedoch sind beide überflüssig. Will man einmal Cylindermaschinen verfertigen, so ist es am besten, den Cylinder mit warmen und sehr trockenen Tüchern inwendig von aller Feuchtigkeit zu befreien, die offenen Zapfen durch einen mit einem seidenen Läppchen umgebenen Kork, und darüber mit geschmolzenem Harze zu verschlieſsen, damit niemals feuchte Luft in denselben dringt, dann auf die Zapfen vermittelst Schreinerleimes einen hohlen Cylinder von Kork zu befestigen, diesen in hölzerne Fassungen zu leimen, und hieran die erforderlichen Zapfen zu drechseln. Auf diese Weise kann man die Cylinder ziemlich concentrisch umlaufend machen, jedoch leisten sie das nicht, was von ihrer Glasfläche zu erwarten wäre.

Am bequemsten und für ganz groſse Maschinen allein anwendbar sind hinlänglich und gleichmäſsig dicke Scheiben, deren Wirksamkeit aber erst vorher durch Reiben und das hiernach erfolgende Anziehen kleiner Stückchen Papier geprüft werden muſs. Gegen das Zerspringen ist man gesichert, wenn die Fassung bloſs mit ihrem äuſsern Rande an das Glas anschlieſst, und die Schraube, womit dieselbe festgeschroben wird, möglichst locker geht. Ungleich besser und gegen das Zerspringen völlig sichernd ist es jedoch, die beiden anliegenden Backen aus Holz zu machen, in welchem Falle die Axe von Metall, besser von Holz und auch von Glas seyn kann. Feines und gleichmäſsig dickes Leder zwischen der metallenen Fassung und dem Glase leistet die besten Dienste, und wird bei hölzerner Fassung auf beiden Seiten dünn mit Terpentin bestrichen. Hinsichtlich der Wirksamkeit leistet nach weitläuftigen und genauen Versuchen von Cuthbertson und Singer [1]) ein Cylinder von 14 Z. ohngefähr so viel, als eine Scheibe von 24 Z., indeſs wird die Wirkung durch eine zahllose Menge von Nebenumständen bedingt, welche sicher noch nicht alle aufgefunden sind. Auſser der gewöhnlichen Art, die Scheibenmaschinen zu bauen, ist eine vortheilhaftere durch v. Marum angegeben, wonach die Scheibe am einen Ende einer Axe befestigt frei zwischen den Reibzeugen umgedrehet wird [2]).

[1]) Gilb. Ann. XXXIX. 215.

[2]) Gilb Ann. XXIII. p 302.

Man hat diese Art der Fassung seitdem häufig angewandt, namentlich ist dieses auch bei der weiter unten zu beschreibenden, welche unglaubliche Wirkungen zeigt, geschehen.

Die Reibzeuge bestehen bei den Cylindern aus einer hohlen, inwendig gepolsterten, Schüssel von Metall oder Holz, bei Scheiben aus flachen, mit weichem Wollenzeuge überzogenen Brettern. Auf beiden wird feines Kalbleder in unmittelbare Berührung mit dem Glase gebracht, und der freie Raum des lezteren, bis an die Saugspitzen wird vortheilhaft mit Flügeln von Taffent und darüber von Wachstaffent bekleidet [1]). Auf das reibende Leder wird mit etwas frischem Schweinefett das Amalgama in einer der Beschaffenheit des Glases angemessenen Menge aufgetragen. Das Amalgama selbst besteht am besten nach Kienmayer [2]) aus 2 Th. Quecksilber in 1 Th. Zinn und 1 Th Zink gegossen, wenn leztere nicht heifser sind, als zum Fliefsen erforderlich ist, und nach dem Erkalten zum feinsten Pulver gerieben. Singer [3]) empfiehlt ein Amalgama aus 1 Th. Zinn, 2 Th. Zink, 6 Th. Quecksilber, oder auch 2 Th. Zinn, 4 Th. Zink, 7 Th. Quecksilber. Das Leztere soll vor dem Zugiefsen bis 150° erwärmt, die Mischung in eine eiserne oder hölzerne Büchse gegossen, darin geschüttelt, und nachher fein pulverisirt werden. Ein weiches Amalgama aus Zinn und Quecksilber ist gleichfalls brauchbar. Pfister in Wien wendet bei seiner unglaublich wirksamen Maschine ein Amalgama aus 2 Th. Zinn, 3 Th. Zink und 4 Th. Quecksilber an.

Der Conductor, bei welchem blofs die Glätte und eine der Stärke der Maschine proportionale Gröfse der Oberfläche in Betrachtung kommt, wird am besten durch massive, mit aufgelösetem Siegellack überzogene Glassäulen isolirt, und mit messingenen Saugspitzen zum Auffangen der Elektricität verbunden. Die verhältnifsmäfsige Gröfse desselben für verschiedene Maschinen ist noch nicht genau bestimmt, indefs giebt nach meinen Erfahrungen im Allgemeinen die Hälfte der Oberfläche der Scheibe oder des Cylinders das richtige Verhältnifs der Oberfläche des Conductors. Bei den Cylindermaschinen wird allezeit und bei den Scheibenmaschinen, wenn sie nach v. Marum auf einer Axe laufen, das Reibzeug mit einem isolirten Conductor versehen

Für die gröfste bis jezt gebauete Maschine galt bisher

---

1) S. v. Marum in Gren Journ. d. Ph. II. 167. VI. p. 70

2) S. Journ. de Phys. XXXIII. 96.

3) A. a. O p. 33.

die von Cuthbertson für das Teylersche Museum in Harlem verfertigte [1]. Von vorzüglicher Gröfse ist auch die, welche dem Prinzen Heinrich von Würtemberg zugehörig sich vermuthlich in Petersburg befindet [2]. Unter die schönsten und wirksamsten Scheibenmaschinen gehört sicher diejenige, welche Pfaff [3] beschrieben hat. Sie übertrifft die bekannte Cylindermaschine Nicholsons [4] bei weitem, und ist so gebauet, dafs an einer Seite das isolirte Reibzeug, an der andern, mit dieser in horizontaler Ebene befindlichen, die Saugspitzen des Conductors angebracht sind, wodurch nicht blofs beide Elektricitäten gleichzeitig, sondern auch in gleicher Stärke und von unmerklich verschiedener Länge der Funken erzeugt werden. Die gröfste gegenwärtig existirende Maschine befindet sich im polytechnischen Institute in Wien. Sie nimmt ein ganzes Zimmer ein, besteht aus zwei auf einer gläsernen Axe laufenden Scheiben, hat isolirte Reibzeuge, welche an riesenhaften Glassäulen befestigt sind, ohne dafs es erforderlich ist, diejenigen zugleich zu isoliren, welche sie drehen. Da sie im Herbste 1828 eben erst vollendet war, so wird sie ohne Zweifel demnächst genauer beschrieben werden. Ungleich merkwürdiger wegen ihrer ganz unglaublichen Wirkungen ist aber eine kleine, von Pfister gebauete Scheibenmaschine [5], deren Scheibe etwa 28 par. Z. Durchmesser hat, auf einer isolirten Axe läuft, und an zwei Reibzeugen gerieben wird. Sie giebt bei jeder Umdrehung 2 bis 4 dicke, 12 bis 15 Zolle lange Funken, welche mit solcher Gewalt hervorbrechen, dafs der einfache Funke eine Glasscheibe von mehr als 1 Lin. Dicke durchbohrt, und einen Blattgoldstreifen von 5 Z. Länge und fast 1 Z. Breite schmelzt. Da der sehr gefällige Verfertiger den ganzen Bau ohne Rückhalt zeigt, so habe ich die Ursachen dieser, bis jezt unerhörten, Wirksamkeit aufzufinden gesucht, und glaube, dafs sie vorzüglich in dem ganz ebenen Anliegen der etwa 2 Z. breiten und gegen 8 Z. langen Reibzeuge, hauptsächlich aber der von diesen ausgehenden, durch ein Glimmerblatt gesteiften,

---

[1]) S. Beschreibung einer ungemein grofsen El. Masch. und einigen damit angestellten Vers. von Cuthbertson. Leipz. 1790.

[2]) S. Grimm in Gilb. Ann. IV. 359.

[3]) Gehler's phys. Wörterb. Th. III. 443.

[4]) Gren Journ. d. Phys. III. 49.

[5]) Eine beschreibung derselben befindet sich in Zeitschrift für Phys. u. Math. von Baumgartner und von Ettingshausen Bd. III.

und aus mehreren Lagen bestehenden Flügel von gefirnistem Seidentaffent zu suchen ist.

Einige ältere Vorschläge, die Wirkungen der Scheiben bedeutend zu verstärken, z. B. durch ein auf dem Reibzeuge liegendes Stückchen Stanniol nach Grotthufs [1]), oder durch drei Reibzeuge nach Metzger [2]) und verschiedene andere scheinen mir von geringerer oder gar keiner Bedeutung zu seyn. Hinsichtlich des zu wählenden Glases glaube ich darin nicht zu irren, dafs die Farbe desselben keinen Unterschied macht, wohl aber das härteste und vor allen Dingen das feinste polirte Spiegelglas bei weitem am vorzüglichsten ist.

§. 155.

Bei aufmerksamer Beobachtung der elektrischen Erscheinungen wird man bald die überraschende Entdeckung machen, dafs durch das Reiben von zwei verschiedenen Körpern aneinander nicht blofs beide, wenn sie hinlänglich isolirt sind, elektrisch werden, sondern dafs ihre elektrischen Aeufserungen einander aufheben, folglich entgegengesetzt seyn müssen. Durch das weitere Verfolgen dieser Entdeckung hat man aufgefunden, dafs überhaupt niemals einerlei Art von Elektricität allein hervor gerufen wird, sondern allezeit zwei, welche man positive und negative, + und — Elektricität genannt hat. Ihr Unterschied zeigt sich hauptsächlich durch ihren Gegensatz, und die Verschiedenheit der strahligen Figuren, welche sie nach Lichtenbergs Beobachtungen auf harzigen Stoffen hervorbringen.

Der Unterschied und das Vorhandenseyn von zwei Elektricitäten ist jezt sehr allgemein bekannt, und hat dadurch viel von seinem Ueberraschenden verloren. Hiervon abgesehen mufs man es als etwas sehr Auffallendes ansehen, dafs zwei ihrem Wesen und gesammten Verhalten nach so sehr ähnliche Potenzen, als beide Elektricitäten sind, existiren sollen, welche noch oberdrein einander zur Indifferenz neutralisiren. Ebendaher hat Franklins Theorie von einer

---

[1]) S. Allgem. Nord. Ann. IV. p. 11.

[2]) S. Bibl. univ. XXIV 187.

einzigen elektrischen Materie lange Zeit hindurch so viele Anhänger und Vertheidiger gefunden, und man würde sie überall nicht verlassen haben, wenn sie sich mit den Erscheinungen vereinigen liefse. Berücksichtigt man vorläufig die blofsen Thatsachen, so existiren unleugbar zwei elektrische Zustände oder zwei Elektricitäten (ohne Rücksicht auf die eine oder die andere darüber bestehende Theorie) welche beide einander höchst ähnlich, und dennoch entgegengesetzt sind, indem die eine den nämlichen Körper anzieht, welchen die andere zurückstofst, und welche beim Reiben von zwei Körpern aneinander jederzeit beide zum Vorschein kommen. Dieses zeigen die Versuche mit Glasstangen und Siegellack an isolirten Reibzeugen gerieben, zwei verschiedenfarbige seidene Bänder über einander gerieben, zwei seidene Strümpfe über einander gezogen, zwei Glastafeln auf einander gedrückt oder gerieben, eine isolirte Metallplatte auf Glas gedrückt u. s. m.

Die angegebene Bezeichnung derselben wurde von Franklin nnd Lichtenberg aufgebracht, eigentlich als blofse Namen, welche aber unverkennbar nicht ohne Bezeichnung eines wesentlichen Unterschiedes sind.

Das allgemeine Gesetz des gegenseitigen Verhaltens der Elektricitäten besteht darin, dafs gleichartige sich abstofsen, ungleichartige sich anziehen, gleiche Mengen entgegengesetzter aber sich zur Neutralität sättigen. Die erste Erscheinung ist nicht absolut im Wesen der Elektricität gegründet, und es ist unrecht, in derselben ein allgemeines repulsives Princip aufzustellen. Vielmehr zieht ein elektrisirter Körper alle neutralen an s. §. 151, zwei gleichartig elektrisirte Körper aber, vorzüglich nichtleitende, bilden um sich entgegengesetzt elektrische Atmosphären, welche sich gegenseitig zurückstofsen, und dadurch eine Entfernung der Körper verursachen, auf deren Oberflächen sie durch den Gegendruck der isolirenden Luft festgehalten werden. Im völlig oder möglichst luftleeren Raume fällt daher das Abstofsen weg [1]) und ist auch in sofern dort unmöglich, als der leere Raum die durch die trockne Luft bewirkte Isolirung aufhebt, weswegen darin keine zur Repulsion erforderliche elektrische Atmosphäre gebildet werden kann.

Die Stärke der Anziehung entgegengesetzt elektrischer Körper ist bei einer so grofsen Menge von Berührungspunc-

[1]) S. Mayer Naturl. §. 575.

ten nicht geringe. Man sieht dieses an einem Stanniolblatte oder metallenen Becher, wenn man eine Glasplatte darauf legt, und dieser an der gegenüberstehenden Seite Elektricität mittheilt, am schönsten an zwei auf einander liegenden erwärmten Bogen Papier mit Federharz gerieben. Sie hängen sehr stark zusammen, und werden mit Knistern und Funkensprühen im Dunkeln auseinander gerissen.

Die bekannten Lichtenberg'schen Figuren entstehen, wenn man auf eine metallene, mit Lack oder harzigen Substanzen überzogene Scheibe die Elektricität strömen läfst, am besten vermittelst eines metallenen Ringes, und diese Stelle mit zerstofsenem Colophonium, Bärlapsaamen oder sonstigen staubigen Substanzen bepudert [1]).

§. 156.

Auf das angegebene Gesetz der Anziehung und des Abstofsens ungleichartiger und gleichartiger Elektricitäten ist die Construction der verschiedenen Elektrometer gegründet, welche in grofser Menge erfunden und vielfach verbessert oder blofs abgeändert sind. Sie dienen entweder blofs dazu, die Anwesenheit der Elektricität zu zeigen, oder sie geben zugleich die Stärke der elektrischen Spannung an, und sind daher eigentliche Mefswerkzeuge. Die Art der vorhandenen Elektricität zu prüfen dienen fast alle, jedoch mit ungleicher Leichtigkeit, Bequemlichkeit und Sicherheit. Verschiedene derselben, namentlich die blofsen Elektroskope, sind aufserordentlich fein, und zeigen die geringsten Spuren des aufgehobenen elektrischen Gleichgewichts oder der erzeugten Spannung an.

Die Erscheinung des Anziehens und Abstofsens durch Elektricität wird sichtbar gemacht durch die Versuche mit dem elektrischen Mörser, elektrischen Haarpinsel, Tanz der Figuren, der Baumwolle, elektrischen Trichter, Holundermarkkugeln in einer elektrischen Glasglocke, das

---

[1]) S. Lichtenberg de nova methodo naturam ac modum fluidi elect. investigandi; nov. Comm. Soc. Reg. Gött. Vergl. Paets van Troostwyk u. Krayenhof in Leipz. Sammlung zur Physik IV. 357.

Glockenspiel, Laufen hohler Glaskugeln in einem metallenen Reifen, das Umhersprühen des weichen Siegellacks, wenn es an einem metallenen Leiter befindlich mit dem Conductor in Verbindung ist, u. a. Diese und ähnliche Versuche, welche insgesammt auf das Gesetz gegründet sind, dafs gleichartig elektrische Körper einander abstofsen, wohin auch das Sträuben der Haare bei denjenigen gehört, welche auf einem Isolirtische stehend mit dem Conductor in Verbindung kommen, sind so bekannt, dafs sie keiner Beschreibung bedürfen. Unter die interessantesten gehört der Tanz erbsengrofser Kugeln von Holundermark oder von dem Marke der Sonnenblumen, wenn man sie in eine gläserne Glocke wirft, deren innere Fläche man vermittelst eines isolirten Metalldrahtes elektrisirt hat. Beim elektrischen Trichter, oder dem elektrischen Siebe, einem cylindrischen Gefäfse mit sehr feinen Röhren, aus denen das Wasser nur tropfenweise ablaufen kann, sieht man einen sehr feinen, im Dunkeln leuchtenden, Wasserstrahl, wenn man ihn mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in Verbindung bringt Die Ursache liegt in dem Abgestofsenwerden des Wassers durch die Wandungen der Röhrchen, jedoch will man gefunden haben, dafs die Quantität des abfliefsenden Wassers nicht gröfser sey, als wenn es in Tropfen abläuft.

Unter den zahlreichen *Elektrometern*, welche die Elektricität blofs anzeigen, verdient vorzugsweise das von Cavallo angegebene, seiner Einfachheit und Empfindlichkeit wegen erwähnt zu werden [1]. Es besteht aus einer auf einem lothrechten Träger horizontal-liegenden Glasstange mit einer Flaumfeder, einem Stückchen Stanniol, oder mit zwei Korkkügelchen an Zwirnsfäden oder seidenen Fäden. Ueberhaupt giebt eine blofse Flaumfeder, an einem Faden aufgehangen, ein wohlfeiles und leicht herzustellendes Elektroskop, welches an Feinheit kaum von irgend einem andern übertroffen wird. Auch das von Hauy [2]) vorgeschlagene, eine dünne metallene Stange mit zwei Kugeln, welche auf einer isolirten Spitze horizontal beweglich ist, leistet gute Dienste. Canton's Vorschlag, zwei Korkkugeln an Fäden hängend zu gebrauchen, wonach Cavallo sein Taschenelektrometer und durch Einschliefsen in einen gläsernen Becher mit messingener Haube ein empfindliches Werkzeug

[1]) S. Abhandl. d. Lehre von d. E. deutsche Ueb. Leipz. 1787. I. 156.

[2]) S. Mineral. d. Uebers. I. 313.

construirte [1]), wurde durch Bennet in dessen bekanntem Blattgoldelektrometer verbessert dargestellt [2]). Statt der Korkkugeln nahm de Lüc hohle silberne an Strohhalmen, de Saussüre Holundermark an feinen Metalldrähten, und Volta [3]) bloſse Strohhalme. Anderweitige, zum Theil verbessernde Vorschläge sind vorzüglich von Erman [4]), von Marechaux [5]) welche beide das Bennetsche Blattgoldelektrometer sehr verkleinerten und empfindlicher machten, daher auch *Mikroelektrometer* nannten, von Kleefeld [6]) und von Parrot [7]). Das von Marechaux angegebene Elektrometer ist jüngstens als neu erfunden durch Hare [8]) in Vorschlag gebracht.

Damit zugleich die Stärke der elektrischen Spannung gemessen werde, schlug Achard [9]) einen messingenen Träger vor, durch dessen Elektricität Kugeln an steifen Fäden hängend abgestoſsen werden. Henley's [10]) Quadrantenelektr. unterscheidet sich hiervon wenig, vorzüglich durch den Quadranten, welcher den Winkel, bis auf welchen die Kugeln abgestoſsen werden, miſst. Das von de Lüc [11]) angegebene Fundamentalelektrometer beruhet auf den nämlichen Principien. Ein ähnliches Werkzeug zum Messen der elektrischen Spannung geladener Flaschen ist von Brook [12]) und Cuthbertson [13]) vorgeschlagen, ein mit veränderlichen Gewichten versehener, in Kugeln endigender Waagebalken, dessen eine Kugel durch eine andere isolirte, mit einer Seite der geladenen Flaschen verbundene, angezogen wird. Man sieht im Allgemeinen leicht, daſs die Hauptidee auf vielfache Weise angewandt und anders modificirt werden kann.

---

1) S. Abhand. von der E. I. 156.
2) S. phil. trans. LXXVII. Gren Journ. I. 380.
3) S. dessen meteorol. Briefe der Ueb. I.
4) S. Gilbert Annalen XV. 389.
5) S. Gilb. Annalen XV. 98. XVI. 115.
6) Gilb. Annalen XXXIV. p. 203.
7) Entretiens sur la Phys. T. V. p. 86.
8) Sillimann Amer. Journ. of Sc. VII. 351. VIII. 103.
9) Beschäftigungen der Berlin. Gesellsch. Nat. Freunde Th. I. p. 53.
10) Phil. Trans. LXII. 359.
11) Nouvelles Idees sur la Meteor. I. §. 411.
12) Phil. Trans. LXXII. 384.
13) Gilb. Ann. III. 1 ff.

Verschiedene der genannten Elektrometer, sind neuerdings außer Gebrauch gekommen, weil sie andern nachstehen, und man sich bei der praktischen Anwendung auf wenige möglichst genaue Apparate beschränken mufs. Diejenigen, welche noch gegenwärtig einen Platz in den Cabinetten verdienen sind folgende:

1) Cavallo's angegebenes Elektrometer als blofses Elektroskop, um von der Anwesenheit elektrischer Spannung Kenntnifs zu erhalten.

2) Hauy's Elektrometer, womit man selbst stärkere elektrische Spannungen messen, und die Art der Elektricität bestimmen kann, inzwischen wird dasselbe durch das von Behren's und Bohnenberger angegebene entbehrlich.

3) Henley's Quadranten-Elektrometer, vorzüglich dazu geeignet, beim Laden der Flaschen die Stärke der Spannung zu bestimmen, um gegen das Zerspringen der Flaschen gesichert zu seyn. Es besteht aus einer isolirenden Fig. 195] Stange $\alpha\beta$ mit einer zum Zierrath dienenden Kugel a. Die Stange ist in der metallenen Kugel b befestigt, und das Ganze wird mit dem metallenen Zapfen e, eine Fortsetzung der Kugel b, bis an den Kranz d in eine Oeffnung des Conductors gesteckt. Aus der Mitte der Stange bei c hängt an einem isolirenden Stängelchen eine kleine, meistens vergoldete, Kugel γ von Sonnenblumenmark oder Kork oder selbst Holz herab, welche durch die Elektricität der Metallkugel b abgestofsen den Abstofsungswinkel am Halbkreise $\delta\delta$ zeigt. Zur genauen Messung der elektrischen Spannung kann dieser Winkel im angegebenen Versuche nicht benutzt werden, weil auf die Kugel γ nicht blofs die Atmosphäre der Kugel b sondern zugleich auch des Conductors wirkt.

4) Parrot's Blattgoldelektrometer, welches an Feinheit unter die vorzüglichsten gehört, und aufserdem mit einem Fig. 196] Condensator verbunden ist. Die Metallplatte EF, welche vermittelst der 3 Schrauben II horizontal gestellt werden kann, trägt das vierkantige Glasgehäuse ABCD. In der oberen messingnen Platte AB desselben ist die Glasröhre rs eingekittet, in welcher der Metallstab ef herabgeht, von gleicher Breite als das bei e angeklebte Goldblatt, und gleichfalls vergoldet. Die Fortsetzung desselben dc trägt die eine Collectorplatte aa, von welcher die andere mit ihr parallele bb durch eine dünne Luftschichte geschieden ist, und an dem Träger ch befestigt, im Scharniere i vermittelst der Handhabe g in die Lage xy gebracht werden

kann. Parrot bringt auch noch einen verticalen, mit dem Goldblättchen parallelen Stab an, welcher vermittelst eines horizontal liegenden getheilten Stabes dem Goldblättchen genähert wird, um die Stärke der Abstofsung zu messen.

5) An Feinheit wird dieses noch übertroffen durch dasjenige, welches v. Bohnenberger [1]) nach einer allgemeinen Angabe von Behrens [2]) construirt hat. Dasselbe Fig. 197] besteht aus einem Glase mit zwei vom messingnen Deckel lothrecht herabhängenden trockenen Säulen §. 179, deren entgegengesetzte Pole auf den zwischen ihnen befindlichen Blattgoldstreifen c wirken, jedoch zu schwach, als dafs er bewegt werden sollte. Wird derselbe aber durch die vom Deckel β oder dem metallenen Drahte γ zugeführte Elektricität auf die eine oder die andere Weise geladen, so übt der gleichnamige Pol Repulsion, der ungleichnamige Attraction gegen ihn aus, welche sich gegenseitig unterstützende Kräfte ihn desto leichter und stärker zu bewegen vermögen. Der sehr feine Apparat bietet die Unannehmlichkeit dar, dafs das Goldblättchen leicht an die mit aufgelösetem Siegellack überzogenen Säulen anschlägt, und daselbst festklebt. Zamboni vermeidet dieses dadurch, dafs er an der unteren Fassung der Säulen ein dem Goldblatte paralleles, schmales, lothrecht aufstehendes Messingblech befestigt, und zugleich ist der Metalldraht, welcher den Blattgoldstreifen hält, in der Glasröhre fg beweglich, so dafs er nebst der oberen Platte in die Höhe gezogen werden kann, um den Streifen in gröfserer oder geringerer Ausdehnung den genannten Blechen zu nähern, ersteres bei geringerer, lezteres bei schwächerer Elektricität [3]). Becquerel [4]) nimmt statt zwei Säulen, deren Stärke ungleich seyn kann, nur eine, legt diese unten im Glase horizontal, und führt von beiden Polen Drähte mit Knöpfchen in die Höhe. Auch hierbei würden verticale Metallstreifen anwendbar seyn.

6) Simon's elektrische Waage [5]), welche verschiedenen älteren Apparaten dieser Art nachgebildet ist, dient

---

[1]) S. Tübinger Blätter Bd. I. p. 380. Gilb. Ann. LI. p. 190.

[2]) Gilb. Ann. XXIII. 24.

[3]) Einen solchen Apparat habe ich bei Zamboni gesehen, ohne zu wissen, ob die Construction von ihm oder von einem andern herrührt.

[4]) Ann. Chim. et Phys. XXV. p. 407.

[5]) Gilb. Ann. XXXVIII. p. 277.

hauptsächlich zur Messung der elektrischen Abstoſsung, und steht hierin an Feinheit bloſs der Drehwaage nach. Man Fig. 198] verfertigt zu diesem Ende aus zwei, an der Lampe gezogenen, etwas conischen, höchst feinen Glasstäbchen einen Waagebalken von möglichst groſser Läuge, indem man zwei solche Stängelchen mit den dickeren Enden an einander durch Schellack befestigt. Zur Axe desselben dienen zwei kurze Enden einer sehr feinen Nähnadel, welche man in der Mitte so befestigt, daſs nach Anbringung der sehr feinen Zunge h der Schwerpunct des Waagebalkens fast genau in den Mittelpunct der Axe fällt, welche auf feinen Glasröhren ruhet. Zum Balanciren dient das Knöpfchen p auf der sehr feinen Stange. An dem Ende dieses Waagebalkens befindet sich die kleine vergoldete Kugel h von Holundermark unter einer andern gleich groſsen e, welche an der isolirenden Stange f befestigt, und vermittelst des Schiebers c d auf der getheilten Leiste A B verschiebbar ist. Auf den andern Arm g werden kleine, aus feinem Drahte geschnittene Endchen als Gewichttheilchen gehangen, und der getheilte Bogen E F dient dazu, um das Gewicht zu messen, durch welches der Waagebalken einen gemessenen Ausschlag erhält.

Sowohl um die feinsten Spuren vorhandener Elektricität aufzufinden, als auch die Stärke der Spannung zu messen Fig 199] dient die Coulombsche Drehwaage. Sie besteht aus einem Waagebalken b b′ von Schellack, oder einem Glasstängelchen mit einer Kugel von Holundermark und einem Blättchen Stanniol an einem sehr feinen Silberfaden oder einem Haare, oder dem Faden einer Kreuzspinne aufgehangen. Das Gleichgewicht des Balkens wird durch eine von der Mitte herabhängende Stecknadel c erhalten, die Drehung desselben durch einen getheilten Kreis gemessen, und das Ganze befindet sich in einem gläsernen Cylinder, von dessen Deckel der Draht a a′ unten mit einer Kugel versehen, herabgeht, um dieser durch den oberen Knopf E. zuzuführen, und eine Abstoſsung der Kugel b′ zu bewirken. Zur Bestimmung der Stärke der Spannung dient das von Coulomb aufgefundene Gesetz, daſs die Restitutionskraft gewundener Drähte sich wie die Gröſse des Drehungswinkels verhält [1]).

Um die Art der gemessenen Elektricität zu erkennen, ladet man das Elektrometer mit einer bekannten Elektricität

[1]) S. Biot Traité. II. 349.

und bestimmt die zu prüfende nach dem Gesetze der gleichnamigen Abstofsung. Das Bohnenbergersche Elektrometer giebt indefs die Art der Elektricität unmittelbar an, je nachdem das Goldblatt von dem einen oder dem anderen Pole der trocknen Säule abgestofsen wird.

§. 157.

Sowohl die Coulombsche Drehwaage, als auch diejenigen Elektrometer, bei denen das absolute Gewicht der abgestofsenen Kugeln genau bestimmbar ist, können dazu benutzt werden, die relative und absolute Kraft der elektrischen Repulsion aufzufinden. Nach den von Coulomb selbst angegebenen Versuchen ist die repulsive Kraft der Elektricität den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional, ein Gesetz, welches zwar mehrfach bestritten, jedoch nach theoretischen Gründen und den genauesten Versuchen für das richtigste zu halten ist.

Die absolute Repulsionskraft der Elektricität vermittelst der Drehwaage zu finden ist schwierig wegen der kleinen hierbei zu messenden Gröfsen. Indefs zeigt Biot [1]) die Art dieser Berechnung. Zur Bestimmung relativer Repulsionskräfte ist nöthig zu bemerken, dafs der Widerstand des gedreheten Silberdrahtes der Waage den Graden der Drehung proportional ist. Man kann daher für wenige Grade die repulsive Kraft den Graden der Zurückstofsung gleichfalls direct proportional setzen. Für gröfsere Entfernungen ist eine genauere Berechnung erforderlich. Heifst die absolute zurückstofsende Kraft F; die Entfernung D, so ist $k = \frac{F}{D}$ = dem Verhältnifs der zurückstofsenden Kraft zur Entfernung nach der Chorde ab. Diese relative Kraft läfst Fig. 200] sich zerlegen in die beiden cb und bq, und da die leztere allein die Repulsion bewirkt, so ist $k = \frac{F}{D}$ cos. abq $= \frac{F}{D}$ cos. $\frac{1}{2}\alpha$. Es kann aber auch D durch den Win-

1) S. Traité I. p. 516. II. 229.

kel α ausgedrückt werden, wenn die Länge der Nadel cb = dem Radius = r gesetzt wird, wonach dann, weil ab : cb = 2 sin. $\frac{1}{2}\alpha$: r, D = 2 r sin. $\frac{1}{2}\alpha$, und hiernach k = $\frac{1}{2}$ F. cot. $\frac{1}{2}\alpha$ ist.

Mifst man dagegen mit Kugeln, welche an isolirenden Stäben herabhängen, deren Schwere nicht in Betrachtung kommt, so mufs das Gewicht derselben, womit sie herabzufallen streben, überwunden werden. Es sey dasselbe = p, so ist die zurückstofsende Kugel a als unbeweglich angenommen
Fig. 201] das Gewicht, womit die abgestofsene b gegen die unbewegliche a zu fallen strebt, dem Sinus des Abstofsungswinkels direct proportional, also ist ihr relatives Gewicht p' = p sin. α. Die Entfernung = ab, in welcher die elektrische Abstofsung auf die Kugel wirkt, ist aber = 2 sin. $\frac{1}{2}\alpha$. Heifst also die Repulsionskraft der Elektricität = F, und wirkt sie in einem gewissen der Entfernung umgekehrt proportionalen Verhältnisse, so erhält man $k = \frac{F}{(2 \sin. \frac{1}{2}\alpha)^x}$. Diese Kraft wirkt aber nicht in der Richtung ab, sondern im Verhältnifs von ad : ab = cos. $\frac{1}{2}\alpha$, wodurch dann das Gewicht der Kugel überwunden werden mufs, welches = p sin. α ist. Es ist also $\frac{F \cos. \frac{1}{2}\alpha}{(2 \sin. \frac{1}{2}\alpha)^x} = p \sin. \alpha$, woraus $F = \frac{p. \sin. \alpha\, (2 \sin. \frac{1}{2}\alpha)^x}{\cos. \frac{1}{2}\alpha}$ wird. Vermittelst dieser Formel kann das Verhältnifs der abstofsenden Kraft zur Entfernung gefunden werden. Nimmt man hierfür das quadratische an, so ist $F = \frac{p \sin. \alpha.\, 4 \sin.^2 \frac{1}{2}\alpha}{\cos \frac{1}{2}\alpha}$. Vergleicht man zwei Repulsionen mit einander, so ist F : F' = $\frac{p \sin. \alpha \sin.^2 \frac{1}{2}\alpha}{\cos \frac{1}{2}\alpha} : \frac{p' \sin. \alpha'. \sin.^2 \frac{1}{2}\alpha'}{\cos. \frac{1}{2}\alpha'}$, und da sin. α = 2 sin. $\frac{1}{2}\alpha$ cos. $\frac{1}{2}\alpha$ ist, so wird für p = p' einfach F : F = sin.$^3 \frac{1}{2}\alpha$: sin.$^3 \frac{1}{2}\alpha'$. Sind beide Kugeln beweglich, und heifst der Winkel, welchen sie mit einander bilden, gleichfalls α, so ist die Berechnung der eben mitgetheilten gleich. Es können indefs auf diese Weise keine sehr genaue Resultate erhalten werden, weil die Bedingungen, nämlich dafs die Fäden kein Gewicht haben und nicht abstofsend wirken sollen, in der Wirklichkeit nicht vollständig stattfinden.

Die Versuche von Coulomb [1]), worauf das angege

[1]) Mem. de l'Acad. 1785. p. 569.

bene, und bis jezt allgemein angenommene Gesetz gegründet ist, wurden mit der Drehwaage unter günstigen Bedingungen angestellt. Die Abstofsung betrug 36°, dann drehete er den Silberdraht rückwärts um 126°, und sie betrug noch 18°, dann drehete er denselben weiter bis 567°, und sie betrug noch 8°,5. Es waren daher

für 1 Entfernung	d. Kugel	36°	Kraft	d. Drehung	36°
2	—	—	—	18°	—	—	144°
3	—	—	—	8°,5	—	—	575°

Im Allgemeinen sind die ersten Gröfsen im Verhältnifs 1 : 1/2 : 1/4; die lezteren : : 1 : 4 : 16, welches das umgekehrte des Quadrates der Entfernung ist. Zur genaueren Berechnung wird angenommen, dafs $k = \frac{F}{D^2}$ oder dafs die Repulsivkraft dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional sey. Es wird demnach nach der eben geführten Rechnung $D^2 = 4r^2 \sin.^2 \frac{1}{2}\alpha$, also $k = \frac{F. \cos. \frac{1}{2}\alpha}{4r^2 \sin.^2 \frac{1}{2}\alpha}$. Um hieraus F und r zu eliminiren, und blofs unter sich vergleichbare Resultate zu erhalten sey $\frac{F \cos. \frac{1}{2}\alpha}{4r^2 \sin.^2 \frac{1}{2}\alpha} = n A$; so ist $\frac{F}{4nr^2} = \frac{A \sin.^2 \frac{1}{2}\alpha}{\cos. \frac{1}{2}\alpha} = A \sin. \frac{1}{2}\alpha \tan g. \frac{1}{2}\alpha$. Hiernach ist

		α		A		A sin. $\frac{1}{2}\alpha$ tang. $\frac{1}{2}\alpha$
Vers. 1	—	36°	—	36°	—	3,614
2	—	18°	—	144°	—	3,568
3	—	8°,5	—	575°,5	—	3,169
angenommen		9°	—	576°	—	3,557

Diese Gröfsen stimmen genau genug überein, um das angegebene Gesetz der Abstofsung daraus abzuleiten [1].

Nach diesen Versuchen von Coulomb, welche durch übereinstimmende von Robison [2] eine bedeutende Bestätigung erhielten, wurde sehr allgemein angenommen, dafs die elektrische Abstofsung dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional sey, insbesondere da dieses auch aus den sehr gehaltreichen Untersuchungen von Poisson [3] über die elektrischen Atmosphären der Leiter hervorging. Es waren aber zuerst die eben so feinen als ge-

1) Vergl. Gren n. Journ. III. 51.

2) A System of Mech. Philos. IV. p. 67.

3) Mem. de l'Inst. 1811 T. I. p. 1. T. II. p. 163.

nauen Versuche Simon's mit seiner oben beschriebenen Waage, aus denen hervorging, daſs die elektrische Repulsion dem einfachen Verhältnisse des Abstandes proportional sey. Der Apparat gewährt unstreitig sehr genaue Resultate, allein Egen[1]) hat später nachgewiesen, daſs Simon als Maſs der Entfernungen den Abstand beider Kugeln angenommen hatte, anstatt des Centrums beider, oder noch richtiger des Centrums ihrer elektrischen Atmosphären. Denkt man Fig. 202] sich nämlich, was hierbei von groſser Wichtigkeit ist, die beiden Kugeln mit den Mittelpuncten c und c′ ihrer einander berührenden kleineren Atmosphären, so ist ihr Abstand rücksichtlich ihrer elektrischen Repulsion offenbar = cc′. Werden sie aber bei der Zunahme dieser Atmosphären einander mehr genähert, so üben die lezteren Repulsion gegen einander aus, und obgleich ihre eigenen Mittelpuncte um die Entfernung cc′ von einander abstehen, so wird doch der Abstand der Mittelpuncte ihrer Atmosphären = c″ c‴ seyn. Egen, welcher hierauf Rücksicht nahm, zeigte durch eine Reihe schätzbarer Versuche und durch richtigere Berechnung der von Simon angestellten, daſs das Coulombsche Gesetz allerdings das richtige sey.

Inzwischen wurden noch andere Versuche angestellt, namentlich durch v. Yelin[2]) mit einem leicht beweglichen horizontalen Balancier zwischen zwei trockenen Säulen und von Kämtz[3]) mit einer Drehwaage, welche beide auf ein zwischen dem einfachen und dem quadratischen liegendes Verhältniſs der Entfernungen führten. Allein bei dem ersteren sind weder Versuche noch auch die Berechnung hinlänglich genau[4]). Bei dem lezteren stand, des scharfen Calcül's ungeachtet, die Kleinheit des gebrauchten Apparates als wesentliches Hinderniſs entgegen. Parrot's[5]) Versuche geben zwar Resultate, welche mit dem quadratischen Verhältnisse der Entfernungen sich wohl vereinigen lassen, zum vollständigen Beweise sind sie aber ungenügend. Am meisten Aufsehen erregten die Versuche eines der geübtesten Experimentator's, J. T. Mayer[6]), welcher durch

1) Poggendorff Ann. V. 199. u. 281.

2) Versuche und Beobacht. zur nähern Kenntniſs der Zambon. Säule. Münch. 1820. 4.

3) Diss. de legibus repuls. elect. geom. Halae 1823. 4.

4) S. Brandes in Schweigg. J. N. F. V. 45.

5) Entretiens sur la Physique. Dorp. 1822. T. V. p. 79.

6) Comm. Soc. Reg. Gott. Rec. T. V. Gott. 1823. p. 96.

einen eleganten Calcül die Abstofsungskraft der Elektricität gegen alle Puncte des gebrauchten Grashälmchens in Rechnung brachte, dabei aber auffand, dafs die Repulsionskraft dem einfachen Verhältnisse des Abstandes proportional sey. Die Ursache dieser Abweichung liegt wohl ohne Zweifel darin, dafs statt geladener Conductoren Flaschen angewandt wurden, bei denen das Gebundenseyn beider Elektricitäten denselben keine freie Wirksamkeit ihrer Abstofsung gestattet. Neuerdings ist indefs das Coulombsche Gesetz der elektrischen Repulsion abermals durch eine Reihe genauer Versuche bestätigt, welche J. J. Ermerins [1]) mit der schwierig zu behandelnden Drehwaage angestellt hat, so dafs man dasselbe hiernach wohl als ausgemacht betrachten kann [2]). Dafs die elektrische Anziehung dem nämlichen Gesetze, als die Abstofsung folgt, liegt in der Natur der Sache.

§. 158.

Bei der Erregung der Elektricität durch die verschiedenen Mittel, vorläufig hauptsächlich durch Reibung, ist nicht blofs zu berücksichtigen, dafs allezeit beide Elektricitäten, und zwar an jedem der geriebenen Körper eine verschiedene, hervorgerufen werden, sondern es ist auch merkwüdig, dafs die nämlichen Körper unter verschiedenen Bedingungen des Reibens verschiedene Electricität geben, wobei die Art der erzeugten noch nicht für alle Körper genau bestimmt ist, und wegen der vielfachen, hierbei zu berücksichtigenden, bedingenden Umstände vielleicht nie bestimmt werden kann.

Dafs bei der Erregung der Elektricität durch Reibung allezeit beide Elektricitäten hervorgerufen werden, mithin das Elektrischmachen der Körper blofs in einer Aufhebung des natürlichen Sättigungszustandes bestehe, läfst sich unter andern dadurch beweisen, wenn man eine gut isolirende Glasstange von etwa 10 bis 12 Z Länge am einen Ende mit etwas amalgamirtem Leder, an dem anderen mit einem Stück

1) Diss. phys. de lege Repulsionis el. Lugd. Bat. 1827. gr. 4.

2) Zamboni zeigt dasselbe auf eine sehr einfache Weise vermittelst der Magnetnadel und der trocknen Säule; die Beschreibung wäre aber zu weitläuftig.

Flanell überzieht, und mit dem ersteren eine andere Glasstange, mit dem lezteren eine Stange Siegellack oder Schwefel reibt, in welchem Falle jederzeit beide elektrisch werden, und zwar das einemal die reibende Substanz negativ, das anderemal positiv. Versuche dieser Art lassen sich in Menge anstellen, jedoch ist es nicht jederzeit leicht, beide Elektricitäten getrennt zu erhalten. Das Nämliche zeigt übrigens selbst eine jede Elektrisirmaschine mit isolirtem Reibzeuge.

Im Allgemeinen giebt geriebenes polirtes Glas stets + E. Harze und Schwefel stets — E. Nach Symmer [1]) geben der Rücken einer Katze + mit jeder Substanz
mattgeschliffenes Glas + mit Wachstaffent, Schwefel, Metallen,
— mit Wollenzeuge, Papier, Hand,
Turmalin + mit Bernstein,
— mit Diamant, Hand,
Hasenfell + mit Metall, Seide, Leder, Hand, Papier, getrocknetem Holze,
— mit feinerem Pelzwerk,
weiſse Seide + mit schwarzer Seide, Metallen, schwarzem Tuche,
— mit Papier, Hand, Pelzwerk,
schwarze Seide + mit Siegellack,
— mit Pelzwerk, Metallen, Hand, weiſser Seide,
Siegellack + mit einigen Metallen,
— mit Eisen, Reisblei, Blei, Wismuth, und fast allen übrigen Substanzen,
Dürres Holz + mit Seide,
— mit Pelzwerk.

Nach einer Menge Versuchen von Coulomb [2]) werden die Körper auf folgende Weise elektrisch. Warmes Papier wird — mit Wollenzeuge und Metall, auſser wenn dieses polirt ist, in seltenen Fällen +. An weiſsen seidenen Zeugen —, auſser wenn dasselbe kalt ist, selten wenig +. An neuen schwarzen seidenen Zeugen gerieben allezeit +. Sind die Zeuge nicht ganz neu, so giebt das Papier, so lange es warm ist —, bald wird es o und einige Zeit nachher +. Weiſse Seide, erkaltet, giebt an polirten Metallen zuweilen schwach +, mit Sicherheit, wenn die Metalle sehr polirt

[1]) S. Phil. trans. LI. 304. Vergl. Singer a. a. O. p. 20.

[2]) Aus dessen Handschriften mitgetheilt von Biot Traité II. 354.

sind; erwärmt allezeit —. Seidenes Zeug, in der Luft heftig geschwungen, wird —. Wollenes Zeug an polirtem Metalle kalt gerieben, giebt +, an nicht polirtem Metalle, oder erwärmt gerieben giebt —. Coulomb meint daher, dafs im Allgemeinen diejenigen Substanzen, welche bei der Reibung an einander sich am meisten ausdehnen, —, diejenigen aber, welche sich am wenigsten ausdehnen, + el. werden. Wärme und rauhe Oberflächen geben daher die Disposition zur — E.

Mehrere Versuche mit verschiedenen und sehr interessanten Resultaten wurden angestellt von Hauy [1], von v. Gersdorf [2], Vassali [3], Cavallo [4], von Arnim [5], insbesondere aber hat neuerdings Becquerel [6] durch eine Menge von Beispielen gezeigt, wie die verschiedenartigsten Veränderungen der Körper die Art der in ihnen erregten Elektricität bedingen.

Ueber den Einflufs der verschiedenen Gasarten und ihrer Dichtigkeit auf die Erregung der Elektricität hat Dessaignes Versuche bekannt gemacht, wonach namentlich die Verdickung und Verdünnung der Luft die Erzeugung der Elektricität hindern. Sie verdienen aber erst genauere Prüfung [7].

Von zwei gleichen Bändern wird dasjenige, welches nach der Länge gestrichen wird, + das andere —. Eine grofse Zahl anderer ähnlicher Modificationen, wodurch die Art der Elektricität bei den verschiedenen Körpern bedingt wird, haben de Lüc [8], Kortum [9], Ritter [10], M. Libes [11] u. a. bekannt gemacht.

Einen interessanten und überzeugenden Beweis, dafs allezeit beide Elektricitäten erzeugt werden, und dafs die verschiedenen el. Körper sich gegenseitig anziehen und ab-

1) S. Ann. du Mus. d'hist. nat. III 309.
2) Gilb. Ann. XVII. 200.
3) Mem. de l'Acad. de Turin V. 57.
4) Vollständige Abhandlung der theoret. und praktischen Lehre von der Elektricität II. 380.
5) Gilb. Ann. V. p. 33.
6) Ann. Chim. et Phys. XXXVIII. 113.
7) S. Journ. de Phys. LXXVIII. 207.
8) S. Nicholsons Journ. XXVIII. 1.
9) Voigt Mag. X. 1. Vergl. Gilb. Ann. XXVIII, 209.
10) El. System. 113.
11) Traité complét et elementaire de Phys. T. III.

stofsen erhält man, wenn man verschiedenartige farbige pulverisirte Körper durch Leinwand auf Harzkuchen pudert, um die Lichtenbergschen Figuren sichtbar zu machen. Am geeignetsten sind Zinnober oder Mennig mit pulv. Schwefel, Colophonium oder Bärlapsaamen gemengt. Sie werden durch das Pudern elektrisch, und durch die Elektricität des Harzkuchens getrennt [1]). Einen nicht minder entscheidenden, aber mit etwas vieler Mühe verbundenen Versuch, um das leichte Hervorkommen beider Elektricitäten sichtbar zu machen, empfiehlt Eynard [2]). Man soll dünne Harzkuchen in metallenen Formen, am besten aus blofsem Schellack mit etwas venetianischen Terpentin verfertigen, und nöthigenfalls mit Bimsstein und Wasser, alsdann mit einer Kohle und Olivenöl poliren. Wenn man über diese einigemale bläst, um sie frei von eigener Elektricität zu machen, alsdann mit zwei verschiedenen Körpern, als einem elfenbeinenen und metallenen Stifte, darauf schreibt und die Züge mit der genannten Mischung bepudert, so kommen sie mit verschiedenen Farben zum Vorschein.

§. 159.

So weit die Untersuchungen wegen unvollkommener Isolirung genügende Resultate geben, ist die Quantität beider erregter Elektricitäten jederzeit gleich, weswegen eine hergestellte leitende Verbindung zwischen beiden, die Elektricität hervorbringenden, Körpern den Zustand der Neutralisation wieder herbeiführt. Merkwürdig ist es, dafs bei leitenden Körpern sich die Elektricität über die ganze Oberfläche derselben verbreitet, bei nichtleitenden dagegen die nämliche in gleichen Quantitäten auf beiden Seiten anscheinend erzeugt wird.

Das gleiche quantitative Verhältnifs der erzeugten Elektricität läfst sich am besten an einer Maschine mit zwei isolirten Conductoren nachweisen, vorausgesetzt dafs die Oberflächen derselben sehr nahe gleich sind, denn widrigenfalls kann man aus dem Conductor des Reibzeuges + el. Funken

[1]) S. v. Arnim in Gilb. Ann. V. 35.

[2]) Bibl. univ. XXII. 18.

erhalten [1]). Die frühere Meinung, dafs zur Hervorbringung einer gröfseren Menge Elektricität die Verbindung des einen Conductors mit der Erde erfordert werde, welche vorzüglich mit der Franklin'schen Theorie §. 180 im Einklange stand, scheint nicht gegründet zu seyn. Ob aber, und in welcher Zeit die el. Spannung der Maschinen, oder die Aufhebung des el. Gleichgewichts durch das Reiben der idioelektrischen Substanz an dem Reibzeuge schwächer wird, oder ob sie durch anhaltendes Fortsetzen des Reibens endlich ganz aufhört, ist noch nicht durch Erfahrung aufgefunden.

Wenn die Nichtleiter auf einer Seite gerieben werden, so entsteht auf dieser freie Elektricität aber in gleicher Intensität die gleichartige auch auf der andern Seite, und eben so verschwindet sie auf beiden, wenn sie nur an einer weggenommen wird. Um diesen Satz zu beweisen, nehme man eine mindestens 3 F. lange und etwa 1 Z. weite Glasröhre von stark elektrischem Glase. Wird diese in der Mitte ihrer Länge mit einem amalgamirten Leder und nachher einem Stücke Taffent gerieben, so kann leicht so viel Elektricität erzeugt werden, als erforderlich ist, um mit einem auf ein kleines Elektrophor gelegten Metallringe eine kenntliche positiv el. Eigur hervorzubringen, wobei sich zugleich ergiebt, dafs das obere, bis auf die Entfernung eines Fufses nicht geriebene Ende der Röhre dieses nicht vermag. Ist dagegen in der Röhre ein etwas starker Metalldraht mit zwei Knöpfen befindlich, wovon der eine in die Mitte der geriebenen Stelle reicht, der andere aber oben aus der Röhre hervorragt, so giebt der leztere gleichfalls eine positiv el. Figur, und zwar bei gleich starker Reibung von gleicher Deutlichkeit.

§. 160.

Wenn man mit einem leitenden Körper, auf dessen Oberfläche die erzeugte Elektricität angehäuft ist, einen andern Körper berührt, so wird dieser leztere, wenn er gleichfalls ein leitender ist, durch Mittheilung eine den beiderseitigen Oberflächen proportionale Menge davon annehmen, ein nichtleitender dagegen wird nur dann Electrikität annehmen, wenn er mit

[1]) S. System d. atom. Phys. p. 137.

einem leitenden in Berührung ist, und in diesem Falle auf jeder Seite verschiedene Elektricität erhalten.

Es läfst sich hauptsächlich nach der dualistischen Ansicht theoretisch erweisen, dafs die Elektricität nicht in das Innere der leitenden Körper eindringt, sondern blofs auf der Oberfläche derselben angehäuft eine umgebende Atmosphäre bildet. Im Wesentlichen beruhet dieses auf dem Gesetze, dafs die Elektricität das stete Bestreben hat, sich mit ihrem Entgegengesetzten zu neutralisiren. Ein solcher Zustand der Neutralisation findet aber im Innern des leitenden Körpers schon statt, und müfste daher wieder aufgehoben werden, wenn die eindringende Elektricität von Wirksamkeit seyn sollte, welche statt dessen ihre Neutralisation vielmehr nach Aufsen hin sucht. Biot [1]) hat dieses durch einen interessanten Versuch erwiesen. Er hing die elliptische Ku-
Fig. 203] gel AB an einen seidenen Faden γ auf. Sie bestand aus einem elliptischen Sphäroide, woran der Seidenfaden befestigt war, und zwei genau auf diese passenden Kapseln a und b, welche mit ihren Rändern aneinander pafsten, und das innere Sphäriod ganz umschlossen, von demselben aber einzeln an den isolirenden Handhaben α und β abgezogen werden konnten. Wenn man demnächst dem Ganzen Elektricität mittheilte, und die Hüllen abzog, so zeigte jede einzelne, insbesondere aber zeigten beide vereint Elektricität von der nämlichen Stärke als vorher, die innere Kugel zeigte aber keine Spur derselben.

Dafs die auf einem leitenden Körper angehäufte Elektricität sich blofs auf dessen Oberfläche befinde, kann hiernach nicht bezweifelt werden, ob dieses aber zugleich vom elektrischen Strome gilt, nämlich dafs auch dieser blofs über der Oberfläche hinfliefse, ohne in das Innere einzudringen, ist eine andere Frage. Es streitet hiergegen zuerst die Schmelzung dicker Metallmassen durch den Blitz, welches füglich aus einem blofsen Hinströmen der Elektricität über die Oberfläche erklärlich ist, ferner die Zerstörung innerer Theile bei einigen durch den Blitz getroffenen Menschen, und endlich das Leitungsvermögen der Körper, namentlich der Metalldrähte für galvanische Elektricität, welches nicht der Oberfläche, sondern der Masse proportional ist. Hierüber hat Davy [2]) entscheidende Ver-

---

[1]) Traité II. 263.

[2]) Phil. Trans. 1821. II p. 431.

suche angestellt, wonach er fand, daſs runde Metalldrähte eben so gut leiteten, als wenn sie platt gewalzt waren, wodurch ihre Oberfläche vermehrt seyn muſste. Becquerel [1]) fand dieses durch seine Versuche bestätigt, wodurch zugleich die verhältniſsmäſsige Stärke des Leitungsvermögens bestimmt wurde. Setzt man dieses beim Kupfer = 100, so ist es beim Golde = 93,6; Silber = 73,6; Zink = 28,5; Zinn = 25,5; Platin = 16,4; Eisen = 15,8; Blei = 8,3; Quecksilber = 3,45; Potassium = 1,33. Daſs die Flüssigkeiten die Elektricität durch ihre Masse leiten unterliegt keinem Zweifel, und so glaube ich denn, daſs man allerdings das Durchströmen der Elektricität durch die Körper überhaupt zugestehen müsse

Damit aber die beiden aufgestellten Sätze nicht mit einander in Widerspruch kommen muſs man die auf einem Körper ruhende und die denselben durchströmende Elektricität unterscheiden. Bloſs unter denjenigen Bedingungen, welche durch den von Biot angestellten Versuch anschaulich gemacht werden, nämlich wenn das elektrische Gleichgewicht bei einem Körper aufgehoben, ihm auf irgend eine Weise ein Ueberschuſs der einen Elektricität zugeführt, und er alsdann ohne den Einfluſs irgend eines anderen elektrischen Wirkungskreises allseitig von Luft umgeben ist, verbreitet sich die vorhandene Elektricität bloſs über die Oberfläche, ohne in das Innere der Körper einzudringen. Dient dagegen ein Körper der bewegten oder strömenden Elektricität zum Leiter, so flieſst sie in seiner Masse fort, und nicht auf seiner Oberfläche, weswegen auch weder die Rauheit und Glätte der lezteren, noch das Ueberzogenseyn mit einer isolirenden Substanz die Leitungsfähigkeit des Körpers bedingt. Bei einem isolirten, übrigens leitenden, Träger der Elektricität muſs man annehmen, daſs seine inneren Theile mit beiden, zu o verbundenen, Elektricitäten gesättigt sind, wonach also bloſs der Ueberschuſs der einen über diesen Sättigungszustand sich zu entfernen strebt, aber durch den Widerstand der isolirenden Luft auf der Oberfläche zurückgehalten wird. Wollte man indeſs, wie zuweilen geschieht, den Satz aufstellen, daſs überall die Elektricität nicht in das Innere der Leiter dringe, sondern ohne Ausnahme nur auf der Oberfläche bleibe, so müſste auch in dem Falle, wenn eine Aufhebung des elektrischen Gleichgewichtes oder die sogenannte Erregung der Elektricität im Wir-

[1]) Ann. Chim. et Phys. XXXII. 420.

kungskreise eines genäherten, mit Elektricität geladenen Körpers stattfindet §. 161, diese sich blofs auf die Oberfläche erstrecken, welches in sofern eine ganz unhaltbare Hypothese ist, als diese streng genommen eine geometrische seyn müfste, welches mit sich selbst im Widerspruche steht.

Hiernach ist jeder die Elektricität leitende, und mit ihr übersättigte Körper gleichsam als der Kern anzusehen, in oder um welchen dieselbe angehäuft ist, indem sie entweder in seiner Masse fortfliefst, um auf dem kürzesten und leichtesten Wege den Ort der Neutralisation zu erreichen, oder auf seiner Oberfläche bei dem Bestreben, eine solche Ausgleichung nach Aufsen zu erhalten, durch die isolirende Luft zurückgehalten wird. Hieraus folgt:

1) Dafs blofs die Oberfläche der Conductoren, wodurch die Gröfse des Kernes der elektrischen Atmosphäre gegeben ist, in Betrachtung kommt.

2) Dafs die Gröfse der Conductoren zur Stärke der ihnen mitzutheilenden Elektricität ein gewisses Verhältnifs haben mufs [1]). Indem nun aus eigenen Versuchen mir bekannt ist, dafs dünne Drähte, wie grofs ihre Länge seyn mag, die Fortleitung der Elektricität von einer gewissen Intensität nicht gestatten, so folgt:

3) Dafs eine Spitze die Electricität überall nicht festzuhalten im Stande ist, sondern dieselbe ausströmen läfst, unter andern Bedingungen aber auch anzieht.

4) Dafs bei Scheiben oder sonstigen leitenden Körpern, wenn sie elektrisirt sind, die Elektricität sich mit der entgegengesetzten Elektricität des umgebenden medii zu sättigen, und daher nach Aufsen strebt. Zugleich aber mufs die Spannung nach den Enden hin stärker seyn, als in der Mitte, wie auch Coulombs Versuche beweisen [2]).

5) Dafs Conductoren da, wo sie dünner werden, bis zu einer gewissen Grenze, die stärkste elektrische Spannung durch längere, aber zugleich dünnere Funken zeigen [3]).

---

[1]) S Volta über d. Capacität der Leiter in phil. trans. LXXII. Vergl. Cavallo Abhandl. v. d. E. II. 140.

[2]) S. Biot Traité. II. 276. Vergl. die Berechnungen über d. Intensität d. E. auf verschiedenen Conductoren, und an verschiedenen Stellen derselben von Cavendish in phil. trans. LXI. 624. von Coulomb in Acad. des Sc. 1786. u. f. von La Place u. Poisson in Mém. de l'Inst. 1812.

[3]) Vergl. Biot Traité II. 334.

Der Uebergang der Elektricität von einem leitenden Körper zu einem andern durch einen nichtleitenden geschieht in Gestalt eines leuchtenden Funkens, welcher dadurch entsteht, dafs sie die widerstehende Luft vermöge ihrer überwiegenden Spannung durchbricht. Es wird dieses mit dem geringsten Hindernisse geschehen, wenn die gesammte Menge der angehäuften Elektricität am leichtesten in einem Puncte vereinigt werden kann, weswegen lange und dünne Conductoren längere Funken geben, als Kugeln, auch geht ein längerer Funke von einer kleineren Kugel an eine gröfsere über, als umgekehrt, worauf die sogenannten *Funkenzieher* und die Vorrichtungen zur Verlängerung der Funken gegründet sind. Den Raum, welchen der Funke durchläuft, nennt man die *Schlagweite*, jedoch kommt zur Beurtheilung einer Maschine nicht sowohl ausschliefslich die Länge, als auch zugleich die Dicke des Funkens in Betrachtung. Am längsten wird der Funke, wenn er von einem + elektrischen Conductor zu einem — elektrischen übergeht.

Dafs ein isolirter Nichtleiter in Berührung mit einem elektrisirten Leiter keine Elektricität annehme, ist schwer auszumitteln, weil kaum ein absoluter Nichtleiter existirt. Nur unter sehr günstigen Bedingungen überzeugt man sich von der Richtigkeit der Behauptung [1]). Dem Wesen nach liegt hierin der Grund, warum eigentlich, vollkommene Isolirung vorausgesetzt, eine Flasche nicht geladen werden kann, wenn nicht die auf der entgegengesetzten Seite, als auf welcher die Anhäufung geschehen soll, freiwerdende Elektricität abgeleitet wird. Indem aber selbst bei der Berührung der nichtleitenden Substanz mit der elektrisirten leitenden die gleichnamige Elektricität auf der entgegengesetzten Seite frei wird, bald nachher aber, wenn diese abgeleitet ist, die entgegengesetzte sich daselbst zeigt, so geht hieraus hervor, dafs die Entstehung dieser Elektricität nichts anders seyn kann, als eine Trennung der beiden Elektricitäten welche auch durch Nichtleiter hindurch bewirkt wird. Hierauf beruhet die Erklärung der bereits §. 153. erwähnten Erscheinung, dafs ein Elektrometer auf gleiche Weise und gleich stark durch einen genäherten elektrischen Körper afficirt wird, wenn sich auch zwischen beiden ein beliebiger Nichtleiter befindet, ja dafs man sogar eine Flasche durch einen solchen hindurch, wenn auch nur unvollkommen, laden kann. Die sich in diesem Falle auf

[1]) S. System d. atom. Phys. Hann 1809. 125. ff.

der entgegengesetzten Fläche zeigende Elektricität ist nämlich nicht hindurchgedrungene, welches den Begriff der Isolirung aufheben würde, sondern die daselbst durch aufgehobenen Neutralisationszustand des Nichtleiters selbst freigewordene.

Auf dieser unleugbaren Eigenthümlichkeit nichtleitender Körper beruhet auch die Entstehung der sogenannten elektrischen Atmosphären. Befindet sich ein elektrisirter leitender Körper in einem nichtleitenden unbegrenzten Mittel, z. B. der atmosphärischen Luft, so entzieht er derselben die ungleichnamige Elektricität um sich damit zu sättigen, ohne dafs sich dieselbe jedoch durch das nichtleitende Medium bewegen, und zur Herstellung des Gleichgewichts an die erregte des leitenden Körpers übergehen kann. Hiernach wird also durch die Elektricität des leitenden Körpers die entgegengesetzte des umgebenden Medii gebunden, die gleichnamige aber frei, und diese leztere bildet die sogenannte elektrische Atmosphäre, welche auf der Oberfläche des Gesichts das Gefühl einer Berührung mit Spinnegewebe erzeugt. Nichtleitende Körper haben zwar gleichfalls eine elektrische Atmosphäre, allein sie ist von geringerer Gröfse und elektrischer Intensität, weil die verschiedenen Elektricitäten sich auf beiden Seiten binden, und diese Art von Körpern überhaupt die Elektricität dauernder und stärker festhält.

§. 161.

Eine genauere Prüfung der Art, auf welche die Mittheilung der Elektricität an leitende Substanzen vor sich geht, zeigt bald, dafs sie mit derjenigen im Wesentlichen identisch ist, welche bei den nichtleitenden stattfindet. Hiervon überzeugt man sich leicht bei der Hervorbringung der Elektricität durch Vertheilung.

Wenn man einem elektrisirten Leiter einen andern isolirten Leiter ohne ableitende Spitzen nahe bringt, so wird im Verhältnifs der Stärke der elektrischen Spannung die gleichnamige Elektricität an demselben frei, so dafs sie ihm durch Ableitung entzogen, und derselbe dadurch in einem bedeutenden Grade entgegengesetzt elektrisch gemacht werden kann Am deutlichsten läfst sich dieses durch zwei kleine, einander genäherte, Conductoren, deren einer mit

Fig. 204] Elektrometern versehen ist, durch folgende Versuche zeigen.

1) Der an der isolirenden Handhabe m gehaltene Conductor A werde durch Berührung des Conductors einer Elektrisirmaschine mit Elektricität gesättigt, und dann dem neutralen, gleichfalls isolirt aufgestellten Conductor B bis so weit genähert, dafs kein Funke zu ihm überspringt, so wird man wahrnehmen, dafs die an leinenen Fäden oder sehr feinen Metalldrähten aufgehangenen Elektrometer α und γ divergiren. Mitunter bemerkt man auch eine Divergenz an dem in der Mitte zwischen beiden befindlichen Elektrometer β, meistens aber, und der Theorie nach, wird dasselbe indifferent seyn. Entfernt man hierauf nach einigen Secunden, auf allen Fall nach einer kurzen Frist, den Conductor A, so fallen die Elektrometer wieder zusammen, und jede Spur einer im Conductor B vorhandenen Elektricität ist verschwunden. Insofern aber vorher keine Elektricität an ihn übergegangen war, er auch nachher keine abgab, so mufs nothwendig die auf die Elektrometer wirkende aus ihm selber, aus seinem Neutralitätszustande hervorgegangen seyn.

2) Wird der Versuch so, wie eben beschrieben ist, angestellt, vor der Entfernung des Conductors A aber B mit einem Finger oder einem sonstigen leitenden Körper berührt, so fallen die Elektrometer zusammen, divergiren aber demnächst alle drei gleichmäfsig wieder, wenn man zuerst den berührenden Finger, und dann den Conductor A entfernt. So wie also durch die Näherung des Conductor's A der Indifferenzzustand aufgehoben, und eine elektrische Spannung erzeugt, diese aber durch Berührung mit einem Leiter wieder entfernt wurde und nachher von selbst abermals zum Vorschein kam, so mufste nothwendig die leztere der ersteren entgegengesetzt seyn.

3) Von der Richtigkeit dieser Folgerung überzeugt man sich leicht durch directe Versuche. Eine Prüfung der Art der Elektricität, wodurch die Divergenz der Elektrometer bewirkt wird, zeigt nämlich, dafs durch Näherung des Conductors A am Ende γ des Conductors B die mit A gleichnamige, am Ende α aber die entgegengesetzte angehäuft wird, und so mufs in β der Indifferenzpunct liegen, wenn sich dieses genau in der Mitte befindet, und keine sonstige Bedingungen einen Einflufs haben. Für den Punct α ist es schwer, diesen Satz durch den Versuch selbst zu beweisen, weil er sich zu nahe bei dem Conductor A befindet, und jeder ihm

genäherte Körper daher dem Einflusse dieses zu sehr ausgesetzt ist. Bei β zeigt sich die Sache häufig unmittelbar, indem dort das Elektrometer nicht divergirt, für den Punct γ aber läfst sich der Satz sehr leicht beweisen, wenn man mit demsleben einen auf einem kleinen Elektrophore stehenden Metallring berührt, und dann durch Bepudern mit einem feinen Pulver eine Lichtenberg'sche Figur erzeugt.

4) Dafs diejenige Elektricität welche, gleich anfangs bei der Näherung des Conductors A frei gemacht, die Divergenz der Elektrometer bewirkte, derjenigen entgegengesetzt sey, welche diese Wirkung nach der Berührung mit einem Leiter und der Entfernung des Conductors A hervorbrachte, läfst sich auf ähnliche Weise an diesem Apparate, noch einfacher mit einem einzelnen Conductor zeigen. Man nähere zu diesem Ende den an der isolirten Handhabe m gehaltenen, im Zustande von o Elektricität befindlichen Conductor A dem elektrisch gemachten Conductor einer Elektrisirmaschine bis so weit, dafs kein Funke an ihn überspringt, bringe ihn zugleich mit einem auf dem Elektrophore stehenden Ringe in Berührung, hebe diese Berührung wieder auf, entferne den Conductor A aus dem Wirkungskreise des Conductors der Elektrisirmaschine, und berühre mit ihm schnell einen andern, gleichfalls auf dem Elektrophore stehenden Ring, und bepudere beide Stellen nach Entfernung der Ringe, so werden entgegengesetzte elektrische Figuren zum Vorschein kommen, und zwar beim ersten Ringe die gleichnamige von derjenigen, welche dem Conductor der Maschine eigen ist.

5) Nähert man in Versuch 1 oder 4 dem Conductor B oder jedem in den Wirkungskreis eines elektrischen Conductors gebrachten isolirten Körper eine nicht isolirte Metallspitze, so wird sich keine freie elektrische Spannung an demselben zeigen. Wird dagegen die Spitze früher wieder entfernt, als man ihn aus diesem Wirkungskreise bringt, so zeigt sich nach der Entfernung aus demselben die entgegengesetzte Elektricität von der des elektrischen Conductors. Es wird hiernach die frei gemachte Elektricität auch durch die genäherte Spitze abgeleitet, und dem allgemeinen Reservoir der Elektricität, nämlich der Erde zugeführt, diejenige aber in dem isolirten Körper aufgehäuft, welche durch die entgegengesetzte des elektrischen Conductors gebunden wurde, sich aber wegen Mangels an Leitungsfähigkeit der Luft nicht mit ihm vereinigen konnte.

6) Kommt in den Wirkungskreis dieses ersten, im Wirkungskreise eines elektrisirten Leiters befindlichen isolirten Körpers ein zweiter, gleichfalls isolirter, und sofort in einer willkührlichen Menge, so wird zwar eine Aufhebung des elektrischen Gleichgewichtes in allen eingeleitet, aber nicht bleibend hervorgebracht werden, wenn nicht endlich eine Ableitung vorhanden ist, oder die Berührung eintritt.

Da die hier angegebenen Erscheinungen allgemein bei allen leitenden und nichtleitenden Substanzen stattfinden, so ergiebt sich hieraus, mit Rücksicht auf die Erzeugung der Elektricität durch Reiben, evident, daſs die Hervorrufung der Elektricität im Allgemeinen bloſs in einer Aufhebung des elektrischen Gleichgewichtes, oder in einer Trennung der beiden Elektricitäten besteht. Die Erzeugung der Elektricität durch Reiben, durch Mittheilung und durch Vertheilung ist daher im Wesentlichen ganz gleich, und besteht in einer zugleich stattfindenden Entziehung der einen und Anhäufung der andern Elektricität. Geschieht dieses bei leitenden Körpern, so wird die im Ueberfluſs vorhandene Elektricität sich sogleich über die ganze Oberfläche derselben verbreiten, wenn sie isolirt sind, im entgegengesetzten Falle aber durch den vorhandenen Leiter der Erde wieder zuströmen; bei nichtleitenden Körpern dagegen wird die über den Punct der Sättigung hinaus angehäufte Elektricität sich nur an einzelnen Stellen befinden, wenn sie nicht absichtlich über der ganzen Fläche erzeugt ist. Bei der Erzeugung der Elektricität durch Reiben oder sonstige Mittel wird dann jede der beiden Elektricitäten sich an demjenigen Körper aufhäufen, zu welchem sie nach den vorwaltenden Bedingungen die gröſste Verwandtschaft hat, und muſs bei der gewöhnlichen Elektricitätserregung durch Reiben mindestens einer der geriebenen Körper ein Nichtleiter oder idioelektrischer seyn, wenn die erzeugte Spannung einen beträchtlichen Grad erreichen soll, weil die eine freie Elektricität sich sonst sogleich wieder mit der andern freien verbindet, und den Zustand der Neutralität herstellt.

Indem hiernach also die Erzeugung der Elektricität bloſs in einer Trennung der beiden verbundenen Elektricitäten besteht, und die Stärke der hierdurch erzeugten elektrischen Spannung, deren Grenze noch nicht aufgefunden ist, aufs höchste gesteigert werden kann, so folgt hieraus daſs beide Elektricitäten im Zustande der Neutralisation in sehr groſser Menge in jedem Körper vorhanden seyn

müssen. Es hat dieses einige Aehnlichkeit mit der Menge der in den Körpern vorhandenen Wärme, indem der absolute Nullpunct auf allen Fall sehr tief liegt. §. 84.

§. 162.

Wenn bei einem Nichtleiter das elektrische Gleichgewicht aufgehoben, mithin auf beiden Seiten desselben verschiedene Elektricität erzeugt ist, so müssen sich diese wechselseitig durch Anziehung binden, und es kann keine derselben weggenommen werden, wenn nicht zugleich die andere eine Ableitung findet. Werden beide durch einen dicht an die Flächen anschliefsenden leitenden Körper mehr concentrirt, so läfst sich die Menge der aufgehäuften Elektricität ungemein vermehren und ihre Wirkung verstärken. Man nennt diese Vorrichtung *Verstärkungsflasche* oder *Leidener Flasche.*

Aus der Eigenthümlichkeit nichtleitender Körper folgt, dafs die verschiedenen, auf beiden Seiten erzeugten, Elektricitäten durch die Masse des Körpers selbst nicht dringen und sich nicht wieder ins Gleichgewicht herstellen können. Dagegen mufs die Neutralisation hervorgebracht werden, wenn alle sich gegenüberstehende Puncte des Nichtleiters nach einander durch einen Leiter in Verbindung kommen. Jede durch eine der drei Arten elektrisirte Scheibe eines Nichtleiters ist daher der eigentliche wesentliche Theil eines solchen Verstärkungsapparates. Weil aber auf die angegebene Weise das Gleichgewicht nur langsam hergestellt werden kann, so verbindet man alle Puncte jeder Seite, um die Vereinigung schneller zu bewirken, mit einer (etwas kleineren) leitenden Scheibe, und erhält hierdurch die Verstärkungsflasche.

Am genauesten lassen sich diese Gesetze durch die sogenannte *zerlegbare Flasche* oder die *Wilkeschen Platten* anschaulich machen. Sie besteht aus einer Spiegelscheibe und zwei etwas kleineren, isolirten, metallenen Scheiben. Nennen wir die obere a; die untere b; so lassen sich folgende Modificationen wahrnehmen:

1) Bringt man die Scheibe in Berührung mit einem Conductor, ohne Ableitung an der andern Fläche, und setzt

die Flasche zusammen, so zeigt sich o Elektricität. Giebt man aber der andern Fläche Ableitung, oder bringt die Scheibe zwischen beide Conductoren einer Maschine, und setzt die Flasche dann zusammen, so ist sie geladen.

2) Werden beide Metallplatten mit einerlei Elektricität geladen, und der Apparat zusammengesetzt, so giebt derselbe keinen Ladungsschlag, und jede Platte behält ihre vorige elektrische Spannung. Werden sie aber mit verschiedenen Elektricitäten geladen, so zeigt sich nach der Zusammensetzung nur eine geringe elektrische Spannung. Beides ist Folge des Gebundenwerdens der gegenseitigen Elektricität.

3) Setzt man den isolirten Apparat zusammen, und giebt der einen Platte eine beliebige Elektricität durch Mittheilung, so wird keine merkliche el. Spannung erzeugt, und es würde gar keine verstärkte Spannung vorhanden seyn, wenn eine absolute Isolirung möglich wäre. In diesem Falle würde nämlich die nicht elektrisirte Seite der Scheibe einen gleichen Ueberschufs der nämlichen Elektricität erhalten, als die elektrisirte, und beide, durch einen isolirten Leiter verbunden, müfsten also gegen einander indifferent seyn. Gäbe man hernach der elektrisirten Seite eine Ableitung, so würde der ursprüngliche neutrale Zustand wieder hergestellt seyn, eine Ableitung an der nicht elektrisirten Seite dagegen bewirkt eine Ladung der Flasche, welche stärker wird, wenn man die Ableitung während des Elektrisirens anbringt. Man zeigt dieses gewöhnlich, indem man eine Flasche an der andern ladet. Wäre die Isolirung vollkommen, so müfste man eine beliebige Menge gleicher Flaschen auf diese Weise zu gleicher Spannung laden können. Auch hierbei ist die Stärke der Spannung, bis zu welcher eine Flasche geladen werden kann, also die absolute Menge der in dem nichtleitenden Körper zu o neutralisirten Elektricitäten noch nicht genau gemessen, indem sich diese Trennung beider, oder die Ladung der Flasche nur so weit treiben läfst, bis die Elektricitäten die vorhandenen Isolatoren durchbrechen. Dafs aber jede Ladung blofs in einer Trennung beider Elektricitäten bestehe §. 161, folgt daraus, dafs durch eine Vereinigung beider vermittelst eines isolirten Leiters auch bei noch so stark geladenen Flaschen der ursprüngliche Zustand der Neutralisirung wieder hergestellt wird.

4) Ist die Ladung auf die angegebene Weise bewerkstelligt, und a mit + El. geladen, so wird im ersten Zeit-

momente nach der Ladung b + El. zeigen; nach einiger Zeit aber müſste bei vollkommener Isolirung weder a noch b freie El. zeigen. Wegen unvollkommener Isolirung dagegen, oder wenn man einer der beiden Platten eine Ableitung giebt, zeigt bei fortdauerndem Zusammengesetztseyn des Apparates die Platte a + El. und die Platte b — El.

5) Nach der Zerlegung des Apparates dagegen zeigt jede derselben die der vorigen entgegengesetzte El., und zwar aus dem einfachen Grunde, weil jede im Wirkungskreise der geladenen Glasscheibe die entgegengesetzte El. annimmt. Hebt man daher, einige Secunden nach geschehener Ladung, nachdem sich die Flasche ins Gleichgewicht gesetzt hat, den oberen Deckel der durch diesen positiv geladenen Flasche mit einer isolirten Handhabe ab, so giebt er auf dem Harzkuchen eine — el. Figur, erhebt man aber die Scheibe zusammt der oberen Metallplatte, so giebt die isolirte untere eine + el. Figur. Diesen Versuch kann man ohne neue Ladung öfter wiederholen, weil die Flasche im eigentlichen Sinne aus dem geladenen Glase *(vitrum oneratum)* besteht, für welches die Metallplatten nur die Vehikel oder Vereinigungsmittel der auf seiner Oberfläche angehäuften El. sind. Aus gleichem Grunde kann man die geladene Flasche mehrmals zerlegen, die Metallplatten neutralisiren, auch die Glasscheibe umkehren, und dennoch wird der Apparat nach dem Wiederzusammensetzen sich als geladene Flasche zeigen.

6) Ist die, beide Belegungen trennende idioelektrische Scheibe eine Harzplatte, so zeigt sich die Flasche sogleich als Elektrophor; ist jene dagegen eine etwas dicke Glasscheibe, so wird das elektrische Gleichgewicht bei ihr durch einmalige Entladung nicht vollständig wieder hergestellt, um so weniger, da die Metallplatten mit ihrer Oberfläche nicht in unmittelbarer Berührung sind. Auch eine solche Flasche wird daher zum Elektrophore, und die isolirt abgehobene obere Belegung giebt unter günstigen Umständen noch stundenlang el. Funken.

Welche Leiter oder Nichtleiter man zur Construction der Flaschen nimmt, ist eigentlich gleichgültig; indeſs eignet sich dünne Metallfolie zu ersteren und gut isolirendes Glas zu lezteren am besten, indem man erstere mit etwas Mehlkleister festklebt. Je besser das Glas isolirt, je gleichmäſsiger und reiner es ist, desto geeigneter ist es zu Flaschen, auch muſs es nach der Stärke der Spannung eine proportionale Dicke haben, wenn es nicht zerspringen soll. Daſs sich

die Flaschen aber so viel schwerer laden, je dicker das Glas ist, folgt aus der Natur der Sache.

Die einfachste Form würden die Flaschen haben, wenn sie aus bloſsen mit dünnem Metall (Zinnfolie) belegten Glastafeln beständen. Diese sind indeſs nicht leicht zu handhaben, und die Versuche, mehrere derselben zu einer Batterie zu vereinigen, haben keinen Erfolg gehabt. Meistens nimmt man Zuckergläser zu den Flaschen, allein bei diesen ist eine ungleiche Dicke des Glases nicht wohl vermeidlich, und die Fig. 205] im physikalischen Cabinette zu Wien gewählten Glasstürze, wie man sie zur Abhaltung des Staubes über Sachen stellt, die Wölbung nach unten gekehrt, geben wegen ihrer Wohlfeilheit, gleichmäſsigen Glasesdicke, der leicht zu erhaltenden gröſseren Höhe bei geringem Raume und der leichten Belegung gewiſs die besten Flaschen. Sie werden in einen hölzernen Ring auf einem Stative gestellt, mit einer blechenen, oben die verhältniſsmäſsige Kugel a tragenden, unten die Folie des Bodens berührenden Röhre cd versehen, welche durch drei, gegen etwas Leder oder Kork drückende Stäbchen b lothrecht festgestellt sind, versehen, bleiben aber ohne Deckel, um die Zerstreuung zu vermeiden. Daſs die Menge des Metalls im Innern der Flaschen von gar keinem Nutzen sey, folglich die groſse Quantität Goldschaum, welche man ehemals zur vermeintlichen Verstärkung hineinzuschütten pflegte, gar keinen Nutzen bringe, folgt aus den vorhergehenden Betrachtungen, wonach der metallene Ueberzug bloſs als Vehikel zur schnellen Vereinigung der auf allen Puncten angehäuften El. dient. Obgleich daher aufgeklebte Zinnfolie am zweckmäſsigsten ist, so können doch auch andere leitende Substanzen, als sogenanntes Silber- oder Goldpapier, mit der blanken Seite anliegend, ein feuchter Ueberzug, die aufgelegten Hände, Münzen, Metallfeilicht und viele andere Dinge als Belegungen dienen. Unter Umständen bedarf es gar keiner Belegung, auch nicht, wie man früher annahm, der Evacuirung der gläsernen Ballon's (der sogenannten *Leidener Leere*), um eine Flasche zu erhalten. Fig. 206] Steckt man z. B. in die Oeffnung a des Conductors A einen in die Spitze c auslaufenden Metallstab, auf dessen Spitze c die Spindel mm horizontal ruhet und Sförmig gebogen durch die Reaction der aus den Spitzen ausströmenden El. herumläuft [1], berührt das bauchige Medicinglas B einigemale mit der Hand oder einem sonstigen

[1]) Ueber diesen Versuch S. §. 165.

nicht isolirten Leiter, während die Maschine gedrehet wird, so bildet das Glas eine nicht unbedeutend starke Flasche, aus welcher man bei gleichzeitiger Berührung des Conductors oder des Zapfens a und der äufseren Fläche des Glases einen merklichen Schlag erhält.

Unter den zahlreichen, meistens auf blofse Spielereien hinauslaufenden Abänderungen der Flasche, z. B. im Zaubergemälde, der Verschwörung, dem elektrisirten Trinkwasser und Gelde, der elektrisirten Stubenthüre u. s. w. verdient nur etwa die Blitzscheibe einige Erwähnung. Sie besteht aus einer grofsen Glasscheibe, deren Belegungen in zahlreiche, etwa 2 Lin. Seite haltende, durch 0,2 Lin. breite Zwischenräume getrennte Quadrate zerschnitten sind. Wird sie entladen, so zeigen sich zahllose blitzende Funken in den Zwischenräumen.

Weil das aufgehobene Gleichgewicht bei einem Nichtleiter, vorzüglich wenn derselbe etwas dick ist, nicht sogleich wieder hergestellt werden kann, so ladet sich eine entladene Flasche mit geringerer Spannung von selbst wieder. Man nennt diese Ladung dann das Residuum, und seine Wirkung ist bei grofsen Batterieen wegen der noch angehäuften grofsen Menge von El. oft keineswegs geringe, weswegen man sich hüten mufs, in den Wirkungskreis derselben zu kommen.

§. 163.

Ist bei einem Nichtleiter das elektrische Gleichgewicht durch Reiben aufgehoben, oder derselbe hierdurch elektrisch gemacht, so wird er die ihm auf solche Weise ertheilte Spannung verhältnifsmäfsig länger, und unter günstigen Umständen sehr lange behalten. Vorzüglich ist dieses bei harzigen Körpern der Fall. Verbindet man sie dann mit zwei beweglichen, oder, wie gewöhnlich geschieht, mit einer beweglichen und einer unbeweglichen Belegung, so erhält man den von Volta erfundenen Apparat, welcher *Elektrophor, Elektricitätsträger,* auch *beständiger Elektricitätsträger* genannt wird.

Es fällt in die Augen, dafs die zerlegbare Flasche zugleich ein Elektrophor ist, wie besonders durch Webers

sogenanntes Doppel-Elektrophor bewiesen werden kann [1]). Man nimmt dazu selten Glas, meistens harzige Körper, z. B. gummi lac. in tab. 1½; terebinth. Venet. 1; Colophon. 2; gummi mast. ½ Theile langsam zerlassen, ½ Stunde oder länger im ruhigen Fluſs bei mäſsiger Hitze erhalten, und in eine erwärmte Form gegossen, giebt eine vorzügliche Mischung. Pfaff [2]) empfiehlt 8 Theile Colophonium; 1 Th. Schellack und 1 Th. venet. Terpentin als vorzüglich brauchbar. Sonst kann man aus Siegellack, aus Schwefel mit Colophonium, Harz und etwas venet. Terpentin zusammengeschmolzen eine gute Mischung erhalten. Die entstehenden Blasen verschwinden durch genähertes heiſses Metall, und es ist nicht schwer, vermittelst eines bis zur gehörigen Entfernung genäherten glühenden Löthkolben's alle Blasen und Unebenheiten verschwinden zu machen. Die besten Elektrophore sind die nach dem Vorschlage von Pfaff [3]) gepreſsten. Man legt auf eine ebene Marmor- oder Glasplatte ein Blatt Stanniol und auf dieses einen metallenen oder hölzernen Ring, um welchen Stanniol so umgeschlagen ist, daſs die Harzmasse nicht ankleben kann, gieſst die Masse hinein, und wenn sie so weit erkaltet ist, daſs sie nicht mehr flieſst, legt man ein Blatt Stanniol darauf, hierüber eine Marmorplatte oder Spiegelscheibe, beschwert diese mit Gewichten bis zu 10 ℔, und läſst sie einen ganzen Tag liegen. Solche Elektrophore sind am ebensten, werden nicht leicht rissig, und haben die stärkste Kraft.

Beim Elektrophore unterscheidet man die Form, welche von Blech, oder Pappe, oder Holz, beide mit Zinnfolie oder Silberpapier auch Goldpapier oder unächtem Gold- und Silberpapier überzogen seyn kann, den Kuchen, und den Deckel oder die Trommel, welche durch seidene Fäden oder eine Glasstange isolirt seyn muſs.

Ist ein geriebenes Elektrophor isolirt, und eine Verbindung zwischen dem Deckel und der Form hergestellt, so wird nach Wegnahme dieser Verbindung keine el. Spannung wahrgenommen, weil die entgegengesetzten El. sich wechselseitig binden. Hebt man aber den Deckel in die Höhe, so muſs die Form — El. zeigen, indem der Deckel + El. hat. Wird dann der Deckel nach hergestelltem Gleichgewichte wieder aufgesetzt, so zeigt dieser — El., die

[1]) S. Gilb. Ann. LI. 198.

[2]) Gehler's Wörterbuch III. 731, wo sich mehrere Vorschriften befinden.

[3]) Gehler Wörterbuch III. p. 734.

Form dagegen + El., wodurch aus der Verbindung beider ein Flaschenschlag mit überwiegender — El. entsteht; Erscheinungen, welche mit denen im vorigen §. erzählten völlig identisch sind [1]).

Elektrophore geben leicht starke El., und man kann sich derselben in Ermangelung einer Maschine mit Vortheil bedienen. Ein aus wohlfeilen Substanzen verfertigtes mit hölzerner oder pappener Form und Deckel, etwa 2 bis 3 Fuſs im Durchmesser haltend, giebt erwärmt schon 3 bis 5 Zolle lange starke Funken. Weil man indeſs zu langsam damit operirt, und die Scheibenmaschinen gegenwärtig wohlfeiler, als ehemals verfertigt werden, so sind sie mehr auſser Gebrauch gekommen, werden indeſs hauptsächlich noch für das Volta'sche Eudiometer §. 78 und die Zündlampe §. 169 benutzt.

Lichtenberg [2]) verfertigte ein wegen seiner Gröſse sehr bekannt gewordenes, in Wien aber wurde ein noch gröſseres verfertigt. Ebenderselbe brachte auch das Doppelelektrophor in Vorschlag. Dieses unterscheidet sich bloſs dadurch, daſs seine Länge die doppelte der Breite ist, um vermittelst des Deckels die eine Hälfte durch die andere zu laden. Wird nämlich die eine Seite — elektrisch, so nimmt der Deckel daselbst + El. an, welche der andern mitgetheilt werden kann, damit der Deckel dort nachher — El. erhalte, um damit die erste zu verstärken. Weber's oben genanntes Doppelelektrophor ist eine in einen bloſsen Rahmen gegossene, an beiden Oberflächen freie Scheibe von Harz, welche statt der Glasscheibe zu der zerlegbaren Flasche dienen kann.

§. 164.

So wie durch die Flasche die elektrische Spannung ausnehmend verstärkt, im Elektrophore aber eine lange Zeit bleibend erhalten wird, so hat man nach den nämlichen Grundsätzen auch Apparate erfunden, durch welche sehr geringe Mengen vorhandener Elektricität wahrgenommen werden können. Das erste und noch immer vollkommenste Werkzeug dieser Art

[1]) Ueber die Theorie des Elektrophor's S. Kraft in Acta Acad. Pet. I. I. p. 154.

[2]) Goth. Mag. I. 42.

wurde von Volta erfunden und *Condensator* genannt. Spätere Veränderungen haben dasselbe zwar nicht wesentlich verbessert, aber für den Gebrauch bequemer und sicherer gemacht. Die Construction desselben beruhet auf dem Gesetze, dafs die Elektricität in den leitenden Körpern gebunden wird, wenn diese sich im wechselseitigen Wirkungskreise befinden, oder unvollkommene Leiter berühren. Cavallo's *Collector* oder Elektricität's-Sammler ist nur der Form nach verschieden und *Bennet's Duplicator* oder Elektricität's-Verdoppler scheint selbst in der von *Nicholson* ihm gegebenen Verbesserung keine sichere Resultate zu geben.

Wenn man der oberen Belegung einer Flasche, deren untere ableitende Verbindung hat, so schwache Elektricität mittheilt, dafs das elektrische Gleichgewicht in dem nichtleitenden Zwischenkörper nicht aufgehoben wird, so zeigt dieselbe bei fortdauernder Verbindung keine freie Elektricität, weil die vorhandene durch die entgegengesetzte der unteren Belegung gebunden wird. Bringt man dieselbe aber isolirt aus dem Wirkungskreise, so wird die Bindung aufhören und freie Elektricität wahrnehmbar werden. Eben dieses ist der Fall, wenn man eine isolirte leitende Platte mit einem unvollkommenen Leiter in Berührung bringt. Diese leztere Beobachtung machte Volta, und gründete darauf seinen Condensator, indem er eine isolirte Metallplatte auf eine Scheibe Marmor, trocknes und überfirnifstes Holz, oder ein seidenes Tuch legte, ihr geringe Quantitäten Elektricität zuführte, welche nach dem Aufheben derselben frei wurden und am Elektrometer gemessen werden konnten [1]. Späterhin entdeckte man, dafs diese mehr oder weniger vollkommenen Nichtleiter oft selbst Elektricität durch Druck und geringe Reibung erzeugten, und Lichtenberg schlug daher eine dünne Luftschicht als nichtleitendes Zwischenmittel vor, wonach also zwei Metallplatten vermittelst drei kleiner Glasstückchen von einander getrennt werden. Noch zweckmäfsiger ist es, die Trennung durch drei Tropfen Siegellack zu bewerkstelligen [2]. Auch ein

[1]) S. phil. trans. LXXII. p. 1.

[2]) S. Mayer Naturl. 485.

blofser dünner Ueberzug von Goldfirnifs über polirte Messingplatten ist hinreichend [1]), Pfaff [2]) aber, welcher sich vorzüglich viel mit dem Gebrauche des Elektrophor's beschäftigt hat, empfiehlt eben geschliffene, mit Bernsteinfirnifs fein überzogene Metallplatten.

Einige spätere Vorschläge zu Verbesserungen [3]) sind mitunter ganz zweckmäfsig, aber nicht von solcher Wichtigkeit, dafs sie hier eine detaillirte Beschreibung verdienen. Eine vorzüglich zweckdienliche Einrichtung ist die beim Bohnenberger'schen Elektrometer befindliche, nämlich die
Fig. 197] obere Scheibe β eben zu schleifen, zu firnissen, und mit einer andern zu bedecken, welche am isolirten Handgriffe α aufgehoben wird. Der kleine Metalldraht γ dient dann, um die geringen Mengen der zugeführten Elektricität aufzunehmen.

Cavallo's Collector ist mehr der Form als dem Wesen nach verschieden. Er besteht aus einer isolirten lothrecht stehenden metallenen Scheibe zwischen zwei gleich grofsen, durch eine dünne Luftschicht getrennten, nicht isolirten. Ist die erstere im gemeinschaftlichen Wirkungskreise der beiden lezteren durch Mittheilung mit gebundener Elektricität geladen, so werden diese beiden lezteren horizontal niedergelegt, und die gebundene Elektricität wird frei [4]).

Bennets Duplicator beruhet auf den nämlichen Grundsätzen [5]), allein die drei isolirten Scheiben, woraus derselbe besteht, und welche abwechselnd horizontal über einander gelegt die erzeugte Elektricität durch ihren gegenseitigen Wirkungskreis binden, erregen eben hierdurch selbst nach den Versuchen von Cavallo [6]) eine oft sehr merkliche elektrische Spannung, weswegen dieser den Gebrauch des Apparates verwirft [7]).

1) S. Biot Traité II. 361.

2) Gehler's Wörterbuch Th. II. p 231.

3) S. Cuthbertson in Gilb. Ann XIII. 208. Wilson ebend. XLII. 376.

4) S. Journ. de Phys. XXXIV. 58. Gren. J. I. 275.

5) Phil. Trans. LXXVII. 288.

6) Phil. Trans. LXXVIII. 1 ff.

7) Hierüber und über Nicholsons Vorschlag zur Verbesserung desselben s. Gren J. I. 49. II. 61. Gilb. XVII. 414. Vergl. Bohnenberger Beschreibung unterschied. Elektricitätsverdoppler. Tüb. 1798. Gilbert über die Instrumente, welche bestimmt sind sehr kleine Grade von Elektricität zu verstärken und merkbar zu machen in Ann. IX. 121. Desormes und Hatchet ebend. XVII. 414.

Seit der Entdeckung des Elektromagnetismus ist es minder nothwendig, vollkommene Condensatoren nach der bisher angegebenen Construction zu besitzen, weil die Magnetnadel schon an sich das feinste Elektrometer übertrifft, und ihre Feinheit durch den Multiplicator §. 197 um ein sehr vielfaches gesteigert wird. Es genügt daher hier den Gebrauch des Condensator's oder Collector's, welcher mit dem Bohnenberger'schen Elektrometer verbunden ist, kurz zu beschreiben.

Ist ein Körper von geringer elektrischer Spannung zu
Fig. 197] untersuchen, und der Collector so hergerichtet, wie die Figur zeigt, so berührt man die obere Platte mit dem Finger oder einem in der Hand gehaltenen Metalldrahte, bringt den zu prüfenden Körper mit dem Knöpfchen des Drahtes γ in Berührung, und wenn diese höchstens 1 bis 2 Minuten gedauert hat, so trennt man sie, entfernt zugleich den Metalldraht von der oberen Platte, und hebt die leztere an der isolirenden Handhabe so in die Höhe, daſs ihre Fläche der unteren parallel bleibt, in welchem Falle dann das Goldblatt die Art und Stärke der vorhandenen Elektricität anzeigen wird. Man kann den Versuch auch umgekehrt anstellen, und die obere Platte mit dem zu prüfenden Körper berühren, in welchem Falle das Goldblatt die entgegengesetze Elektricität zeigen wird. Auf allen Fall wird hierbei die zur Aufnahme der Elektricität verwandte Platte mehr Elektricität binden, als ohne den Einfluſs der in ihrer Nähe befindlichen. Heiſst jene P, diese dagegen P′, so wird in P′ eine gewisse Menge Elektricität $= - B$ gebunden werden, wenn P eine Quantität $= + A$ zugeführt erhält; zugleich aber wird $- B$ noch eine Quantität $= A'$ binden, und P wird also fortfahren aus der zugeführten Elektricitätsquelle geladen zu werden, bis $A - A'$ mit dieser einen gleichen Grad der Spannung hat, so daſs also die ganze Ladung derselben $S = A - A'$ seyn wird. Auf allen Fall kann ferner $- B$ nicht $= A$ seyn, weil die Platten P und P′ nicht mit einander in unmittelbarer Berührung sind, das Verhältniſs von $A : - B$ und von $- B : A'$ hängt von der Dicke der Firniſs-Schichte, von ihrer Isolirung ab, und muſs durch Versuche mit einem Elektrometer ausgemittelt werden, um die condensirende Kraft des gebrauchten Apparates zu kennen. Ist $- B = mA$, wobei m nothwendig kleiner als 1 seyn muſs, so ist auch $- A' = mB$, weil die Wirkung von A zur Bindung von B derjenigen gleich ist, wonach B wiederum A′ bindet, und man

erhält also $m A + B = o$ und $A' + m B = o$. Schafft man aus beiden Gleichungen B weg, so wird $A' = m^2 A$, und die Spannung der Condensatorplatte P oder $S = A - A' = (1 - m^2) A$. Das Verhältnifs von A zu S ist also 1 zu $(1 - m^2)$, oder

$$A : S = 1 : (1 - m^2)$$

drückt das Verhältnifs der Spannungen aus, welches die Platte P für sich allein und unter der Einwirkung der Platte P' zeigen würde. Wäre $m = 0{,}99$ oder würde nur 0,01 weniger Elektricität in P' gebunden, als in P aufgehäuft ist, so würde $\frac{1}{1 - m^2} = 50$ seyn, und also die Platte P nach Wegnahme von P' die 50fache Spannung von derjenigen zeigen, welche sie ohne Condensation durch blofse Berührung mit dem elektrischen Körper gezeigt hätte. Man kann die Elektricität auch zuerst an einem Condensator mit einer grofsen Platte condensiren, und von diesem wieder an einem zweiten mit einer kleineren Platte, um dadurch die Condensation zu vervielfachen, welches aber nicht blofs Vorsicht, sondern auch Geschwindigkeit und Uebung erfordert [1]).

§. 165.

Da es keinen vollkommenen Nichtleiter der Elektricität giebt, und selbst in den vollkommensten durch den Einflufs eines elektrisirten Körpers das bestehende Gleichgewicht aufgehoben und elektrische Spannung hervorgebracht werden kann, so folgt hieraus von selbst, dafs bei allen Körpern auch das aufgehobene Gleichgewicht wieder hergestellt und der Zusand nicht vorhandener elektrischer Spannung wieder eintreten mufs. So sehr dieses mit der Erfahrung übereinstimmt, so schwer ist es, alle die Bedingungen aufzufinden, welche auf die hierzu erforderliche Zeitdauer Einflufs haben. Vor allen Dingen gehört hierunter verbreitete Feuchtigkeit und Dampf. Der mögliche oder wahrscheinliche Einflufs der Temperatur ist noch nicht genau bestimmt, im Allgemeinen aber scheint, unter

[1]) S. Pfaff in Gehler's Wörterb. Th. II. p. 230 ff.

übrigens günstigen Bedingungen die elektrische Spannung bei isolirten Körpern, umgeben von atmosphärischer Luft, in einer geometrishen Progression abzunehmen, indem die Zeiten die Exponenten der abnehmenden Intensitäten sind.

Gäbe es einen absoluten Nichtleiter, und würde das elektrische Gleichgewicht nicht selbst durch die Masse der Isolatoren wieder hergestellt, so müfste eine mit Schellack völlig verschlossene geladene Flasche ihre Elektricität stets behalten, was gegen die Erfahrung streitet. Wird einem elektrisirten Körper die mitgetheilte Elektricität durch kleine, bei Nichtleitern beide Seiten abwechselnd berührende isolirte Körper in kleinen Quantitäten allmälig entzogen, so verlieren sie dieselbe schneller als ohne dieses. Man macht dieses sichtbar am elektrischen Glockenspiele oder der sich selbst entladenden Flasche. Diese nicht ganz unnütze Spielerei besteht aus einer gewöhnlichen Flasche, etwa 10 bis 12 Z. hoch und 4 bis 5 Z. im Durchmesser haltend, und statt des Knopfes mit einer metallenen Glocke versehen. Neben der Flasche wird eine nicht isolirte Metallstange aufgerichtet, welche gleichfalls mit einer Glocke versehen seyn kann. Zwischen beiden hängt von einem krummgebogenen isolirten Drahte an einem Seidenfaden eine Metallkugel wie eine Erbse grofs so herab, dafs sie sich mit den beiden Glocken in einer horizontalen Ebene befindet. Ist die Flasche geladen, so zieht sie das Knöpfchen an, theilt ihm eine gewisse Menge ihrer Elektricität mit, und beide stofsen sich ab, das Knöpfchen aber wird von der nicht isolirten Glocke angezogen, schlägt gegen diese, und führt ihr die erhaltene Elektricität zu, wodurch also ein abwechselnd wiederholtes Anschlagen an beide Glocken und das hierdurch entstehende Geläute bewirkt wird. Das einzige Belehrende hierbei liegt in der anschaulich dargestellten Uebertragung der zur Ladung genügenden Menge Elektricität in kleinen Quantitäten an einen anderen Körper. Da wo eine solche Vorrichtung nicht stattfindet geschieht etwas Aehnliches durch die in der Luft schwimmenden Stäubchen, welche von den elektrischen Körpern angezogen, bei der Berührung geladen, alsdann abgestofsen werden, und hierdurch die vorhandene Elektricität allmälich entziehen.

Nichtleiter halten auf allen Fall die Elektricität länger fest, als Leiter, und am längsten, wenn ihre Flächen mit

leitenden Körpern verbunden sind. Daher bleibt eine geladene Flasche länger als eine elektrisirte Glastafel, ein Elektrophor länger als eine Harzplatte, am längsten unter günstigen Bedingungen das Elektrophor elektrisch, welches auch deswegen den Namen: beständiger Elektricitätsträger mit Recht verdient. Unter günstigen Bedingungen behalten gute Elektrophore eine merklich starke Elektricität leicht ein ganzes Jahr, und die lezten Antheile der elektrischen Spannung verlieren sie wahrscheinlich niemals. Wenigstens besitze ich selbst ein Elektrophor, welches in dem trockenen Kästchen einer elektrischen Zündlampe eingeschlossen seit mehreren Jahren unverändert das Wasserstoffgas zu entzünden vermag. Am nachtheiligsten auf die Fortdauer der elektrischen Spannung wirkt der Wasserdampf, obgleich die eigenthümliche Art dieser Wirksamkeit noch nicht aufgefunden ist. Auch starke Hitze ist schädlich.

Nach Coulomb's Versuchen nimmt unter günstigen Bedingungen der Isolirung und bei geringer elektrischer Spannung die Intensität in gleichen Zeiten um gleiche Gröſsen ab. Ist demnach die ursprüngliche Intensität $= i$; die Zeit in Minuten $= t$; die Verminderung in einer Minute $= \frac{1}{m}$, so ist $i' = i\left(1 - \frac{1}{m}\right)^t$. Frühere Versuche von Cavallo [1]) geben sehr verschiedene Resultate. Er fand, daſs zu den Graden der Intensitäten $= 15; 8; 4 \ldots$ die Zeiten $1; 3{,}5; 17 \ldots$ gehörten. Hiernach wäre wenigstens $i' = \frac{i}{\sqrt{t}}$ oder $\log. i' = \log. i - \frac{1}{2} \log. t$.

Coulombs Versuche [2]) scheinen der Natur mehr angemessen zu seyn, sind viel zahlreicher und unter sich sehr übereinstimmend. Indeſs verdient die Sache immer noch eine genauere Prüfung.

Bei der Herstellung des elektrischen Gleichgewichts kommt die Form und Ausdehnung des Körpers, woran sie gebunden ist, nebst der Stärke der elektrischen Spannung sehr in Betrachtung. Spitzen lassen die Elektricität sehr schnell ausströmen §. 160. Merkwürdig ist dabei, daſs die Elektricität nach Art aller expansibelen Flüssigkeiten, bei diesem Ausströmen eine starke Reaction ausübt. Hierauf gründen sich die *elektrische Spindel*, und die zahlrei-

---

1) Phil. Trans LXXVIII P. I. p. 1 ff.

2) Biot Traité II. p. 244.

chen Apparate, welche man durch dieses mechanische Mittel in Bewegung setzt, als die elektrische Mühle, der Kegelschieber, die Spieluhr u. a. m. Apparate dieser Art, welche man in willkührlicher Menge und mit verschiedenen Abänderungen leicht construiren kann, sind zu einfach, als daſs es sich der Mühe lohnte, sie genauer zu beschreiben. Sie beruhen sämmtlich darauf, daſs man einen Draht oder ein Blech in die Form eines S biegt, und auf einer beweglichen Axe so befestigt, daſs die beiden Spitzen durch die Reaction der ausströmenden Elektricität die Spindel umdrehen, wobei man im Dunkeln leuchtende Büschel ausströmen sieht, und bei groſser Stärke der zugeführten Elektricität ein durch das Ausströmen bewirktes hörbares Geräusch wahrnimmt.

Vor einigen Jahren gab ich mir die Mühe, ein bauchiges Fig. 206] Medicinglas, worin sich die stählerne Spindel mn befand, mit Quecksilber zu füllen, dieses durch Auskochen von Luft zu befreien, dann in ein Gefäſs mit Quecksilber umzustürzen, unter eine Campane zu stellen, durch Luftverdünnung das Quecksilber sinken zu machen, und die Spindel mit groſser Mühe auf die Spitze c zu bringen. Wurde dem isolirten Apparate Elektricität von einer Maschine zugeführt, so bewegte sich die Spindel im Torricellischen Vacuo nicht, selbst wenn man dem Glase von oben herab einen nicht isolirten Metalldraht näherte, oder es damit berührte. Wird dieser Apparat, so wie ihn die Figur darstellt, ohne Quecksilber und ohne Exantlirung auf den Conductor einer Maschine gestellt, so läuft die Spindel meistens nicht um, wenn das Glas völlig trocken ist, leichter wenn seine inneren Wände mit etwas Feuchtigkeit überzogen sind, und sicher, wenn man dasselbe von Auſsen mit einem Finger oder der Hand berührt, in welchem Falle es sich zur Flasche ladet. Auch nach Auſsen übt die ausströmende Elektricität eine mechanische Gewalt aus, wie sich zeigt, wenn man dieselbe gegen ein kleines Flugrad blaſsen läſst. Indeſs ist die Stärke dieses Wehens nur geringe, wird aber durch das Umbiegen einer Lichtflamme sichtbar.

Eine interessante Vorrichtung, um die Herstellung des elektrischen Gleichgewichts bei Flaschen zu zeigen, hat Fig. 207] Richmann angegeben [1]. Eine belegte Glastafel wird isolirt aufgehangen, oder auf einem Fuſsbrette lothrecht aufgerichtet, und mit den kleinen Kügelchen α; α' von Sonnenblumenmark an seidenen Fäden versehen, wel-

[1] S. Biot Traité II. 340.

che im neutralen Zustande an der Scheibe herabhängend ihre Belegung berühren. Wird dann die Seite A positiv geladen so entfernen sich beide Kügelchen und geben am Elektrometer + E. Entfernt man den Leiter, durch welchen A geladen wurde, so wird α mit verminderter Stärke abgestoſsen, α' aber nähert sich allmälich der Belegung, insbesondere wenn B während der Ladung einigemale ableitend berührt wurde, um die Flasche zu einigem bedeutenden Grade der Spannung zu bringen, kommt zuletzt mit ihr in Berührung, und fängt dann wieder an, sich mit — elektrischer Abstoſsung zu entfernen, bis beide Kügelchen in gleichen, nicht groſsen, Abstand kommen. Wird dann eine der Seiten ableitend berührt, so kommt das ihr zugehörige Kügelchen mit ihr in Berührung, das andere aber wird stärker abgestoſsen, und hiermit kann man mehrmals wechseln, wenn die belegte Tafel bei günstiger Witterung ihre Ladung längere Zeit behält.

Sollte die Elektricität wohl der Haarröhrchen Anziehung unterworfen seyn? Es scheint mir dieses daraus zu folgen, daſs Glasröhren mit feinen Rissen, wodurch weder Wasser noch Luft dringt, nicht mehr isoliren. Auf allen Fall beweisen die §. 176 zu erwähnenden Scheidungen, daſs die Elektricität durch ganz feine Risse im Glase dringt.

§. 166.

Wenn nach allen diesen Thatsachen die Erregung der Elektricität bloſs in einer Aufhebung des natürlichen Gleichgewichts derselben oder des Zustandes der Sättigung besteht, so müssen wir voraussetzen, daſs bei der Herstellung dieses Gleichgewichts beide Elektricitäten gleichfalls vorhanden sind, und die ungleich elektrisirten Körper sich zugleich mit der entgegengesetzten Elektricität wieder sättigen. Hiernach können wir nicht umhin anzunehmen, daſs beide Elektricitäten im elektrischen Strome neben einander gehen, und bei Spitzen zugleich Ein- und Ausströmung der entgegengesetzten stattfindet. Die Zeit, in welcher die Elektricität den erforderlichen Raum durchläuft, scheint sehr klein zu seyn, ist aber nach allgemeinen mechanischen Gesetzen gewiſs nicht unendlich klein.

Wenn durch Reibung zweier Körper an einander §. 158.

beide mit entgegengesetzter Elektricität geladen werden, so kann dieses nur dadurch geschehen, dafs sie ihre entgegengesetzten Elektricitäten wechselseitig austauschen. Bei der Mittheilung der Elektricität an irgend einen Körper mufs derselbe zuerst in den Wirkungskreis des elektrisch geladenen kommen. Es ist aber gezeigt §. 160, dafs dann die entgegengesetzte Elektricität von der des geladenen Körpers an der ihm zugewandten Seite des genäherten neutralen angehäuft wird, und es läfst sich daher annehmen, dafs dieser einen Theil derselben von jenem erhält, während er ihm von seinem Ueberflufs einen Theil abgiebt. Jede Art der elektrischen Ladung scheint sonach auf einem wechselseitigen Uebergange der entgegengesetzten Elektricitäten zu beruhen.

Zur Annahme dieser Hypothese berechtigen aufser der Gesammtheit der erwähnten Erscheinungen namentlich auch diese, dafs man bis jezt noch nicht bestimmt hat entscheiden können, ob z B. der + elektrische Funke aus dem Conductor oder in denselben strömt, viele Physiker aber der Meinung sind, dafs zwei Funken einander begegnen [1]). Ferner dafs bei einer Elektrisirmaschine, wenn man beiden Conductoren Ableitung giebt, und sie längere Zeit in Wirkung erhält, nach dem Dualismus eine unendliche Menge Elektricität als vorhanden seyend vorauszusetzen wäre. Es sprechen ferner dafür das Gegeneinander-Strömen der Lichtbüschel, wenn man der kleineren Kugel eines grofsen Conductors die Hand oder eine andere Kugel bei grofser Intensität der Spannung nähert; vorzüglich die Strömungen im luftverdünnten Raume [2]). Die Entladung einer Flasche durch Kartenblätter, die Wirkungen des Blitzes und viele andere Erscheinungen berechtigen gleichfalls zu dieser Annahme. Ein sehr überzeugender Versuch ist der von Ekmark angegebene. Wenn man eine unten belegte Glasplatte oben mit trocknen Schwefelblumen oder fein pulverisirten harzigen Substanzen bestreuet, zwei mit entgegengesetzten Elektricitäten geladene gleiche Flaschen in 2 bis 3 Z. Abstand von einander darauf setzt, und sie durch gegenseitige Verbindung entladet, so bezeichnet ein Weg mit den + und ein anderer mit den — el. Figuren den Gang der wiederhergestellten E. [3]). Noch auffallender wird der Be-

[1]) S. Remer in Gilb Ann. VIII. 332. XVII. 25 Knoch ebend. XXIV. 108. Mayer Naturl. 441. Hildebrandt II. 761.

[2]) S. Hildebrandt in Schweigg. Journ. I. 237.

[3]) Voigt Magaz. 1801. St. 4. p. 667. Gilb. Ann. XXIII. 431.

weis, dafs bei der Entladung einer Flasche beide Elektricitäten neben einander strömen, durch folgenden Versuch [1]. Wenn man eine Batterie stark ladet, dann zwischen die beiden, etwa 1 Z. von einander abstehenden Kugeln des Henley'schen allgemeinen Entladers ein etwa 3 Z. ins Gevierte haltendes Stanniolblatt so aufhängt, dafs die Stangen der Kugeln gegen dessen Fläche perpendiculär gerichtet sind, und die Batterie entladet, so zeigt sich das Stanniolblatt allezeit von zwei Löchern durchbohrt, welche zuweilen selbst bis 0,5 Z. von einander abstehen, und deren Ränder nach entgegengesetzten Seiten hin ausgebogen sind. Dieser Versuch scheint mir nur mit der dualistischen Theorie der Elektricität verträglich. Wenn man aber zu dessen Erklärung annimmt, dafs der + elektrisch geladenen Seite der Flasche — Elektricität zuströmt, während sie selber von ihrer + Elektricität an jene abgiebt, so konnte auch bei der Ladung nicht blofs + Elektricität von der negativ geladenen abgeleitet werden, wie man meistens annimmt, sondern es mufste ihr zugleich — Elektricität zuströmen. Dafs hiernach eine entladene Flasche eine absolute Vermehrung beider zu o verbundenen Elektricitäten enthalten solle, folgt keineswegs, indem vielmehr anzunehmen ist, dafs bei der Ladung derselben von ihrer — Elektricität eine gleiche Menge an den ladenden Conductor überging, als ihr bei der Ableitung der + Elektricität an der entgegengesetzten Seite entzogen wurde. Anschaulich läfst sich dieses darstellen, wenn man eine flache Scheibe einer Harzmasse oder von Siegellack auf einen metallenen Ring legt, diesem gegenüber einen anderen stellt, und lezterem einen + elektrischen Funken mittheilt. Nach dem Bepudern erhält man oben eine positiv elektrische, unten eine negativ elektrische Figur. Läfst man den unteren Ring wieder auf einer solchen Harzscheibe ruhen, welche abermals von einem nicht isolirten Ringe getragen wird, oder bauet man allgemein eine Säule von einer beliebigen Anzahl solcher abwechselnden Scheiben von Harztafeln und Ringen auf, deren unterster nicht isolirt ist, und führt dem oberen Elektricität zu, sey diese + oder —, so wird auf jeder Seite jeder Harzscheibe eine der gegenüberstehenden entgegengesetzte elektrische Figur zum Vorschein kommen. Hierbei kann aber die entgegengesetzte Elektricität auf keine andere Weise, als durch Zuführung erhalten seyn.

---

[1]) S. van Moll in Journ. de Phys. XC. 336.

Da auch dieser Versuch nur mit der dualistischen Theorie verträglich scheint, so verdient er eine etwas genauere Erörterung. Es seyen also die Harzscheiben A; B; C; D.... ihre entgegengesetzten Seiten a und a'; b und b'; c und c'.... die Ringe α; β; γ.... Berücksichtigt man zuerst A, und wollte man nach Franklin annehmen, dafs nur eine elektrische Materie existire, so würde durch Zuführung derselben vermittelst des Ringes α auf a zwar Ueberflufs, auf a' dagegen relativer Mangel entstehen, allein dieser relative Mangel kann auf keine Weise den aufgepuderten Harzstaub anziehen. Die Anhänger dieser Theorie bemühen sich zwar, auch diesen Versuch zu erklären, allein es scheint mir dieses unmöglich. Ihre Erklärung ist folgende. Wenn durch α auf a + Elektricität angehäuft ist, so übt diese gegen die auf a' befindliche Repulsion aus, treibt sie durch β nach b, häuft sie dort auf, und in der Berührung zwischen a' und der oberen Seite des Ringes β ist also wirklicher Mangel, welcher nachher beim Bepudern eine negative Figur giebt, und so geht es durch alle folgende Wechsel der Scheiben und Ringe. Diese Erklärung beruhet indefs auf einer Täuschung. Wir wollen nämlich annehmen alle Theile des Apparates seyen auf o der elektrischen Spannung oder elektrisch indifferent. Wird dann durch den Ring α + Elektricität auf a angehäuft, so übt diese allerdings Repulsion gegen die auf a' befindliche aus, es wird also daselbst absoluter Mangel entstehen, vermöge dessen der Harzstaub angezogen wird, und eine negativ elektrische Figur bildet, statt dafs oben durch die Repulsion der positiv elektrischen eine entgegengesetzte zum Vorschein kommt. Wenn man aber den Ring α nach der Mittheilung der Elektricität ableitend berührt, so müfste die mitgetheilte Elektricität unter der Voraussetzung dauernder Spannung nothwendig so weit entweichen, dafs sie mindestens gegen die auf der anderen Seite a' befindliche durch den Nichtleiter A hindurch keine weitere Repulsion ausüben könnte. Dennoch aber geben auch in diesem Falle beide Seiten Lichtenberg'sche Figuren. Nimmt man hinzu, dafs eine + elektrische Figur sogleich zum Vorschein kommt, wenn man die neutrale Harzscheibe erst mit Pulver bepudert und dann einen elektrischen Funken mittheilt, welches mit der Entstehung der — elektrischen auf der Seite a' durch vorausgesetzte Zuströmung der Elektricität erscheinenden im Widerspruche steht, leztere aber durch einen Mangel an Elektricität unmöglich directe entstehen kann,

so ergiebt sich hieraus klar die Unhaltbarkeit der Franklin'schen Hypothese. Soll aber der Versuch nach der dualistischen Theorie erklärt werden, so muſs man annehmen, daſs dem Ringe α und zugleich der Oberfläche a + Elektricität zugeführt, dagegen — Elektricität entzogen werde. Erstere auf a angehäuft sucht sich mit — Elektricität von a' zu neutralisiren, bindet diese, wodurch auf a' zugleich + Elektricität frei und durch β an b übergeführt wird, während beide zugleich an a' einen Theil ihrer — Elektricität abgeben. Was hierbei in A vorgeht erzeugt eine gleiche Wirkung in B auf b und b' durch γ u. s. w., bei allen Scheiben wird das elektrische Gleichgewicht aufgehoben, und wenn man auch a ableitend berührt, so bleibt dennoch auf beiden Seiten der Scheiben A; B; C . . . . eine geringe Quantität entgegengesetzter Elektricitäten, welche die Figuren zu erzeugen genügt. Wenn aber in allen diesen angegebenen Fällen beide Elektricitäten neben einander strömen, so muſs man der Consequenz wegen auch annehmen, daſs dieses beim Ausströmen aus Spitzen stattfindet, wobei aber in der Regel hauptsächlich nur die positive wahrgenommen wird, welche die stärkste Elasticität zu haben scheint §. 180.

Daſs die Bewegung der E. sehr schnell, aber nicht unendlich schnell, und langsamer als die des Lichtes sey, sieht man an der Bewegung des Blitzstrahles, woran man Anfang und Ende unterscheiden kann[1]). Waston[2]) wollte 1747 die Geschwindigkeit derselben bei der Herstellung des Gleichgewichtes zwischen den beiden Belegungen einer Flasche prüfen, und führte daher die entladenden Dräht 2 engl. Meilen hin und durch feuchte Erde zurück, ein anderesmal über die Themse und durch das Wasser derselben zurück, ohne die Zeit der Bewegung durch diese Räume meſsbar zu finden. Hierbei ist aber die Frage, ob die Bewegung durch diese Räume erst im Momente der Berührung anfing, oder ob nicht eine Disposition zur Herstellung des Gleichgewichts schon früher durch den el. Wirkungskreis eingeleitet war. Singer[3]) zieht auſserdem die Genauigkeit dieser Versuche in Zweifel. Ueberhaupt wäre es sehr der Mühe werth die Geschwindigkeit der el. Strömung durch genaue Ver-

---

1) S. Helvig in Gilb. Ann. LI. 137.

2) Phil. Trans. XLV. p. 491. Mehrere Versuche s. Gehlers Wörterb. IV. p. 381.

3) S. a. a. O. p. 93.

suche vermittelst der Bewegung einer Magnetnadel zu messen. Nach den bisher bekannt gemachten Versuchen ist übrigens nicht blofs die Bewegung der Reibungselektricität, sondern auch der durch die Volta'sche Säule erregten von unmefsbarer Geschwindigkeit, wie dieses namentlich Erman [1], Basse [2] und neuerdings Hare [3] übereinstimmend gefunden haben.

§. 167.

Die Wirkungen der Elektricität sind sehr mannigfaltig. Ob ein Einflufs derselben auf die organische und unorganische Natur auch dann statt findet, wenn sie in dem gewöhnlichen Zustande des Gleichgewichtes ist, oder ob die Wirksamkeit derselben erst mit und durch die Aufhebung und Wiederherstellung desselben eintritt, ist noch unentschieden. In diesem lezteren Zustande aber äufsert sie sich aufser der genannten Anziehung und Abstofsung noch vorzüglich durch die bekannten Licht-Entwickelungen, wobei bestimmte Unterschiede des Lichtes der + und — Elektricität noch nicht völlig ausgemacht sind.

Da es überall keinen Körper giebt, welcher ohne *El.* wäre, und sich die Quantität der in jedem Körper vorhandenen gebundenen El. auf keine Weise bestimmen läfst §. 161, so scheint es unmöglich, den Einflufs derselben im Zustande des Gebundenseyns überhaupt kennen zu lernen. Hiernach bleibt es also vorerst noch unentschieden, welchen Zweck diese oft so mächtig wirkende Potenz im Reiche der Natur im Zustande ihrer Neutralität hat.

Wie grofs die absolute Stärke der el. Repulsion oder Attraction unter den verschiedenen Bedingungen sey, ist gleichfalls noch nicht durch Versuche aufgefunden, und eben so wenig ob die Art der El. in dieser Hinsicht einen Unterschied macht, wie jedoch nach den bekannten Thatsachen nicht wahrscheinlich ist.

Die El. zeigt einen Lichtschein im Funken, welcher Nichtleiter, hauptsächlich die Luft durchbricht. Biot und

---

[1]) Gilb. Ann. XIV. 385.
[2]) Gilb. Ann. XIV. p. 26.
[3]) Phil. Mag. 1824. Mai.

Morgan [1]) leiteten diese Licht-Entwickelung aus der Compression der Luft beim schnellen Durchgange der El durch dieselbe ab, wogegen das stärkere Licht in verdünnter Luft und das mit dem in atmosphärischer Luft erzeugten gleichstarke im möglichst genauen Vacuo streitet. Biòt [2]) hat daher diese seine frühere Hypothese deswegen wieder zurückgenommen, weil Kohlenspitzen an den Polardrähten mächtiger Volta'scher Säulen einander genähert ein Licht von unglaublicher Intensität selbst im Vacuo geben. Dessen später geäufserte Meinung, dafs nach allen Thatsachen die Vereinigung beider Elektricitäten Licht erzeuge, weil der Verbindungsdraht einer Volta'schen Säule erst ganz glühe, und am längsten in der Mitte, ist zuerst nicht richtig, denn ich habe oft einen solchen Draht überhaupt nur an einer Seite glühen gesehen, und zweitens ist sie keine Erklärung, sondern nur die Angabe der Thatsache. Nach der Emanationstheorie müfste man übrigens annehmen, dafs die El. zum Theil aus Licht bestehe, oder dasselbe gebunden enthalte, nach der Undulationstheorie ist es indefs nicht schwer anzunehmen, dafs auch die el. Strömung den Lichtäther in Schwingungen versetze, eine den sonstigen zahlreichen Thatsachen sehr angemessene Annahme.

Beim Ausströmen der El. aus Spitzen oder verhältnifsmäfsig kleinen Kugeln zeigen sich Lichtbüschel oder bei — El. Lichtpuncte. Vorzüglich schön sind die Lichtstreifen, welche den luftverdünnten Raum durchströmen, z. B. in Franklin's Röhre, in leuchtenden Barometern [3]) u. a. Nach den interessanten Versuchen von H. Davy [4]) ist das Leuchten der El. in der Torricellischen Leere eine Folge ihrer Durchströmung durch die Dämpfe in derselben, das Licht nimmt daher ab, wenn diese durch Erkalten minder dicht werden, und wird auf gewisse Weise stationär zwischen — 6°,6 und — 28°,8 C. Davy hält hiernach das Leuchten der El. für eine minder wesentliche Eigenschaft als die Anziehung, welche überall stattfindet.

Im Allgemeinen will man das Licht der + El. stärker und glänzender gefunden haben, als der — El.; die Funken derselben sind unter gleichen Bedingungen länger und dicker,

---

[1]) S. Ann. de Chim. LIII. 321 und phil. tr. LXXV. p. 272. Biot Traité II. 463.

[2]) Précis élém. Th. I. p. 659.

[3]) S. J. Bernoulli de mercurio lucente in vacuo. in opp. II. 112.

[4]) Phil. Trans. 1822. I. 73.

auch kann man einen schwer zu beschreibenden Unterschied des Leuchtens beider im luftverdünnten Raume wahrnehmen. Genauere Bestimmungen der Farbe und Intensität des Lichtes sind zwar verschiedentlich angegeben, aber noch nicht mit der erforderlichen Zuverläſsigkeit festgesetzt [1]). Nach den angegebenen Versuchen von H. Davy wird die Farbe des el Lichtes im sogenannten Vacuo durch die Beschaffenheit der darin befindlichen Dämpfe bedingt. Ueber Quecksilber ist dasselbe grünlich, ins Gelbe übergehend; im bloſsen luftverdünnten Raume ist es röthlich und purpurfarben. Ueber den Unterschied des Lichtes beim Einströmen der + oder der — El. wären genauere Versuche noch zu wünschen.

§. 168.

Unter den Wirkungen der Elektricität verdient vorzüglich die mechanische Gewalt ausgezeichnet zu werden, womit dieselbe bei ihrem Fortgange gegen verschiedene Körper stöſst, sich einen Weg durch Nichtleiter oder schlechte Leiter bahnt, und diese zum Theil oder gänzlich zerstört. Auch die drehende Bewegung, welche den Wasserhosen und Landtromben eigen ist, und die furchtbaren Wirkungen, welche diese hierdurch äuſsern, sind ohne Zweifel als eine Folge elektrischer Thätigkeit anzusehen.

Die merkwürdigsten, mitunter ganz unglaublichen Erscheinungen mechanischer Gewalt, welche die El. im Blitzstrahle vorzüglich beim Zu- und Absprunge ausübt, werden in der Meteorologie erzählt.

Genau genommen findet kein wesentlicher Unterschied zwischen dem sogenannten einfachen Funken und dem verstärkten, oder dem Flaschenschlage statt, und daher sind die Wirkungen beider auch in vielen Stücken nicht verschieden. Ohne auf die Wirkungen des Blitzes Rücksicht zu nehmen, durchbohrt der hinlänglich starke einfache Funke Glasscheiben, zersprengt Holzstücke, und schmelzt Metalldrähte oder dünne Blättchen. Einfache Versuche ergeben indeſs, daſs die Menge der in Flaschen angehäuften El. gegen die des einfachen Funkens in der Regel auſserordent-

---

[1]) Vergl. Hildebrandt in Schweigg. I. 237. Grotthuſs ebend. XIV. 463.

lich grofs ist, zugleich aber wird sie durch Bindung so zusammengehalten, dafs die Schlagweite des Flaschenfunkens ungleich kleiner ist als des einfachen. Wahrscheinlich beruhet daher der vermeintliche Unterschied beider blofs auf der ungleichen Menge der vorhandenen El., und wenn der verstärte Funke die Nerven anders afficirt, so liegt die Ursache hiervon darin, dafs die El. des Batteriefunkens mit ihrer ganzen Masse zusammengedrängt in einem engen Raume den Körper durchströmt, statt dafs der gleich starke einfache sogleich nach dem Zusprunge sich durch den ganzen Körper zerstreuet.

Selten ist jedoch der einfache Strahl der Maschinen so stark, dafs er eine ausgezeichnete mechanische Wirkung hervorbringt, indefs durchbohrt derselbe das Glas, wenn man eine Phiole mit Olivenöl füllt, einen Draht durch einen Kork mit der Seitenwand in Berührung bringt, und von aufsen den Knöchel anhält [1]. Auffallend ist dieselbe dagegen beim Batteriefunken. Dahin gehört die gewaltsame Ausdehnung der Luft beim Durchgange des Batteriefunken's durch dieselbe, wie dieses durch Kinnersley's Luftthermometer angezeigt wird [2], ein gläsernes, mit Luft gefülltes Gefäfs, durch welches der Batteriefunke vermittelst zweier Drähte geleitet und dann die hierdurch bewirkte Ausdehnung der Luft vermittelst einer mit Wasser oder Quecksilber gefüllten Röhre gemessen wird, desgleichen durch die elfenbeinernen el. Mörser nach Singer; das Zerstreuen des Staubes, Schiefspulvers oder sonstiger kleiner Körper; das Durchbohren der Kartenblätter, Zerschlagen von Glasscheiben, wenn man die Kanten derselben zwischen die leitenden Drähte des allgemeinen Entladers bringt, oder dünner Glasscheiben, die Drähte gegen die Flächen gerichtet; das Zerreifsen zusammengeleimter Stücke Holz mit zwischenliegenden unterbrochenen, dünnen Metallstreifen, oder kleiner Stücke gedörreten Holzes, in welches man zwei gegen einander gerichtete metallene Spitzen gesteckt hat. Der Harlemer Apparat übt hierbei eine Gewalt aus, welche man auf 9840 ℔ berechnet [3]. Auch gläserne und metallene, mit Wasser gefüllte Röhren werden mit einer unglaublichen

---

1) S. Singer Elektricitätslehre p. 101.

2) S. Langenbucher prakt. Elektricitätslehre p. 45.

3) S. v. Marum Beschreibung einer ungemein grossen El. Erste Forts. Leipz. 1786.

Kraft durch den Batteriefunken zersprengt [1]) und andere Erscheinungen mehr [2]).

§. 169.

Eine zweite Wirkung der Elektricität ist das Entzünden brennbarer Substanzen. Sie ist so viel merkwürdiger, da die Elektricität an sich nicht erwärmend wirkt, weder auf das Gefühl noch auf thermoskopische Substanzen. Am leichtesten und mit dem kleinsten Funken entzündet sie Wasserstoffgas und Knallgas, der gröfsere, nicht verstärkte Funke zündet Naphtha, erwärmten Weingeist, Kampfer und Phosphor; der Flaschenfunke entzündet Bärlapsaamen, pulverisirtes Colophonium und sonstige Harze, dagegen keinen Zündschwamm, und Schiefspulver nur bei geschwächter Leitung. Bei sehr unvollkommener Leitung zündet derselbe auch Zündschwamm, selbst an der Oberfläche des menschlichen Körpers, ohne die Empfindung der Wärme hervorzubringen. Das Verkalken der Metalle, und Einbrennen derselben in Glas scheint zugleich die Folge einer chemischen Action und nicht blofs der erzeugten grofsen Hitze zu seyn.

Dafs Menschen durch den el. Strom keine Wärme, vielmehr Kälte empfinden, und dafs ihre Temperatur überhaupt durch Elektrisiren nicht erhöhet wird, ist ausgemacht [3]). Weder Weingeist- noch Luft-Thermometer steigen, wenn man sie mit einem el. Conductor in Berührung bringt, auch Quecksilberthermometer nicht, und selbst ein sehr feines, zu diesem Zwecke besonders eingerichtetes, mit einer kleinen Stahlspitze im Cylinder versehenes Thermometer zeigt weder am + noch am — Conductor einer starken Maschine die mindeste Veränderung. Es kann demnach in der El. an sich keine Wärme vorhanden seyn, wenn dieselbe gleich durch

---

1) S. Gilbert Ann. XXIV. 310.

2) Ueber die fruchtbaren Wirkungen der Landtromben und deren wahrsheinliche Ursache S. §. 271.

3) S. v. Marum in Gilbert Ann. I. 88.

den Batteriefunken aus Holz und andern schlecht leitenden Substanzen entbunden wird [1]).

Auf die leichte Entzündlichkeit des Knallgases und Wasserstoffgases ist, aufser Volta's Eudiometer §. 70 die el. *Pistole* [2]), das *Donnerhaus* nebst sonstigen Spielereien und die el. *Zündlampe* gegründet. Leztere wurde von Fürstenberger erfunden [3]) und von Polcastro unvortheilhaft mit einem Schlosse versehen. Gute Naphtha und Phosphor wird durch den el. Funken leicht, Weingeist schwieriger und meistens nur nach vorgängiger Erwärmung entzündet. Kampfer auf den Conductor der Maschine gelegt und angezündet, dann ausgeblasen, kann leicht durch die el. Funken entzündet und wiederum durch eine nur stumpfe Spitze ausgeblasen werden. Die Entzündung des pulverisirten Harzes, wodurch das Einschlagen des Blitzes nachgeahmt wird, ist nicht allezeit sicher durch einen starken Funken aus einer kleinen Flasche zu bewirken.

Um Schiefspulver sicher zu zünden vermischt man dasselbe zuweilen mit Metalltheilchen, durch deren Glühen die Entzündung unfehlbar herbeigeführt wird. Interessanter ist es, die Nichtentzündlichkeit desselben selbst durch den stärksten Batteriefunken zu zeigen, welcher dasselbe blofs umherzustreuen pflegt. Wenn man dagegen die Leitung des elektrischen Stromes durch einen zwischengelegten nassen Bindfaden schwächt, so erfolgt die Entzündung unfehlbar. Diese Vorrichtung, wobei man den verlangten Zweck niemals verfehlt, ist ohne Widerrede die einfachste. Andere empfehlen durch eine mit Wasser gefüllte Glasröhre die Leitung zu unterbrechen, allein dabei läuft man Gefahr, diese zu zersprengen. Sicherer ist es, sie mit Salzwasser zu füllen, indefs bleibt ein nasser Bindfaden immer das Sicherste [4]). Die merkwürdigste Erscheinung ist ohne Zweifel, dafs der stärkste Funke den Zündschwamm zwar durchlöchert, aber nicht entzündet. Dagegen läfst sich derselbe, wenn er in eine feine Spitze zusammengedrehet

---

1) S. v. Marum in Gren Journ. d. Ph. III. 1. Gilb. Ann. I. 247. Vergl. §. 86. N. 4.

2) Pickel's Vorrichtung zum geschwinden Laden derselben S. Ingenhoufs verm. Schriften I. 285.

3) S. Description et usage de quelques lampes à air inflammable par M. Ehrmann. Strasb. 1780.

4) Vergl. Sturgeon in Phil. Mag. LXVII. p. 44. Pfaff in Schweigg. N. J. XVIII. 276.

ist, allerdings an der inneren Belegung einer geladenen Flasche oder an der Oberfläche des Körpers eines Menschen, welcher mit dieser Belegung isolirt verbunden ist, ohne die Empfindung der Hitze zu erzeugen, leicht und sicher entzünden. Nach dem, was im vorigen §. über den Unterschied des einfachen und des Flaschenfunken's gesagt ist, liegt die Ursache davon, dafs beide den Schwamm nicht zu entzünden vermögen, und dieser blofs auf die angegebene Weise leicht und sicher entzündet wird, offenbar darin, dafs in diesem Falle eine überwiegend grofse Menge Elektricität von der einen Belegung der Flasche auf die feine Spitze des Schwammes concentrirt wird, deren andere Belegung gleichzeitig ihre entgegengesetzte Elektricität durch unvollkommene Ableitung dem Erdboden abgiebt. Hierauf beruhet auch die eigenthümliche, scharf stechende Empfindung, welche solche Funken auf der Oberfläche des menschlichen Körpers erregen.

Alle Metalle, ohne Unterschied ihrer Strengflüssigkeit, werden durch einen hinlänglich starken Funken glühend gemacht, verbrannt oder gar in feinen, wie ein Rauch aufsteigenden, Kalk verwandelt. Im möglichst luftleeren Raume kommen sie indefs (wenigstens Stahldraht und wahrscheinlich alle Metalldrähte) blofs zum kurzen, sehr schnell vergänglichen Glühen, und das Verbrennen ist daher eine Folge der Säuerung mit dem Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft. Da die Elektricität nach den angeführten Beweisen nicht selbst heifs ist, so kann dieses Phänomen nicht wohl anders, als aus einer, der Elektricität eigenen chemischen Action erklärt werden, worauf die Reduction des Knallsilbers gleichfalls führt. Nähert man eine Kleinigkeit desselben auf einer mit etwas Fett klebrig gemachten Messerspitze dem Conductor einer Maschine nach dem Verhältnifs ihrer Stärke auf 3 bis 12 Fufs und darüber, so explodirt dasselbe, eine Wirkung, welche weder aus der Hitze noch aus dem mechanischen Drucke erklärt werden kann. Uebrigens ist die, Metalle oxydirende und schmelzende Kraft der Elektricität so stark, dafs beim Entladen selbst kleinerer Flaschen der Metallknopf des Entladers fast immer etwas weniges an die äufsere, unmittelbar berührte Belegung geschmolzen wird, und der über Glas geleitete Batteriefunke meistens einen Ueberzug oxydirten Metalles zurückläfst. Legt man eine blanke kleine Münze zwischen den Knopf des Entladers und die äufsere Belegung, so wird sie durch den Entladungsschlag festgeschmolzen. Mehrere Physiker,

unter andern Biot, leiten das Glühen der Metalle von Drucke ab, welchen die Elektricität ausüben soll. Es scheint mir dieses jedoch gegen die anerkannte grofse Expansion derselben zu streiten.

Die Elektricität wirkt allgemein nur dann durch mechanische Gewalt zerstörend, wenn sie Widerstand findet, also blofs gegen Nichtleiter, Hitze erzeugend und schmelzend aber auch gegen Leiter, jedoch gleichfalls nur dann, wenn diese die vorhandene Quantität derselben nicht frei und ohne Widerstand fortzuleiten vermögen. Dicke Metalldrähte werden daher gar nicht warm, obgleich sie durch so viel Wärme, als zum Schmelzen der dünneren erfordert wird, eine merkliche Temperaturerhöhung erhalten müfsten. Auch hieraus folgt augenfällig, dafs die Elektricität an sich nicht warm ist.

Soll die mechanische Wirkung der Elektricität nach den bekannten mechanischen Gesetzen erklärt werden, wonach der Effect dem Producte aus der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist, so mufs bei der Feinheit des elektrischen Fluidum's seine Geschwindigkeit aufserordentlich grofs angenommen werden.

§. 170.

Insbesondere darf die chemische Wirksamkeit der Elektricität nicht übersehen werden. Sie ist am stärksten bei der durch Berührung heterogener Metalle hervorgebrachten Elektricität, zeigt sich aber gleichfalls bei der durch Reibung entwickelten, obwohl in einem, in Vergleichung mit der elektrischen Spannung beider, verhältnifsmäfsig sehr geringen Grade, sowohl zerlegend als auch verbindend. Ob der specifische Geruch und ein diesem ähnlicher Geschmack, welche die Elektricität hervorbringt, gleichfalls einer chemischen Zerlegung zuzuschreiben sind, oder von einer unmittelbaren Einwirkung einer der Elektricität eigenthümlichen Grundlage herrühren, ist zwar noch nicht mit Sicherheit ausgemacht, jedoch scheint die leztere Meinung aus überwiegenden Gründen die richtige zu seyn.

ist, allerdings an der inneren Belegung einer geladenen Flasche oder an der Oberfläche des Körpers eines Menschen, welcher mit dieser Belegung isolirt verbunden ist, ohne die Empfindung der Hitze zu erzeugen, leicht und sicher entzünden. Nach dem, was im vorigen §. über den Unterschied des einfachen und des Flaschenfunken's gesagt ist, liegt die Ursache davon, dafs beide den Schwamm nicht zu entzünden vermögen, und dieser blofs auf die angegebene Weise leicht und sicher entzündet wird, offenbar darin, dafs in diesem Falle eine überwiegend grofse Menge Elektricität von der einen Belegung der Flasche auf die feine Spitze des Schwammes concentrirt wird, deren andere Belegung gleichzeitig ihre entgegengesetzte Elektricität durch unvollkommene Ableitung dem Erdboden abgiebt. Hierauf beruhet auch die eigenthümliche, scharf stechende Empfindung, welche solche Funken auf der Oberfläche des menschlichen Körpers erregen.

Alle Metalle, ohne Unterschied ihrer Strengflüssigkeit, werden durch einen hinlänglich starken Funken glühend gemacht, verbrannt oder gar in feinen, wie ein Rauch aufsteigenden, Kalk verwandelt. Im möglichst luftleeren Raume kommen sie indefs (wenigstens Stahldraht und wahrscheinlich alle Metalldrähte) blofs zum kurzen, sehr schnell vergänglichen Glühen, und das Verbrennen ist daher eine Folge der Säuerung mit dem Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft. Da die Elektricität nach den angeführten Beweisen nicht selbst heifs ist, so kann dieses Phänomen nicht wohl anders, als aus einer, der Elektricität eigenen chemischen Action erklärt werden, worauf die Reduction des Knallsilbers gleichfalls führt. Nähert man eine Kleinigkeit desselben auf einer mit etwas Fett klebrig gemachten Messerspitze dem Conductor einer Maschine nach dem Verhältnifs ihrer Stärke auf 3 bis 12 Fufs und darüber, so explodirt dasselbe, eine Wirkung, welche weder aus der Hitze noch aus dem mechanischen Drucke erklärt werden kann. Uebrigens ist die, Metalle oxydirende und schmelzende Kraft der Elektricität so stark, dafs beim Entladen selbst kleinerer Flaschen der Metallknopf des Entladers fast immer etwas weniges an die äufsere, unmittelbar berührte Belegung geschmolzen wird, und der über Glas geleitete Batteriefunke meistens einen Ueberzug oxydirten Metalles zurückläfst. Legt man eine blanke kleine Münze zwischen den Knopf des Entladers und die äufsere Belegung, so wird sie durch den Entladungsschlag festgeschmolzen. Mehrere Physiker,

unter andern Biot, leiten das Glühen der Metalle von Drucke ab, welchen die Elektricität ausüben soll. Es scheint mir dieses jedoch gegen die anerkannte grofse Expansion derselben zu streiten.

Die Elektricität wirkt allgemein nur dann durch mechanische Gewalt zerstörend, wenn sie Widerstand findet, also blofs gegen Nichtleiter, Hitze erzeugend und schmelzend aber auch gegen Leiter, jedoch gleichfalls nur dann, wenn diese die vorhandene Quantität derselben nicht frei und ohne Widerstand fortzuleiten vermögen. Dicke Metalldrähte werden daher gar nicht warm, obgleich sie durch so viel Wärme, als zum Schmelzen der dünneren erfordert wird, eine merkliche Temperaturerhöhung erhalten müfsten. Auch hieraus folgt augenfällig, dafs die Elektricität an sich nicht warm ist.

Soll die mechanische Wirkung der Elektricität nach den bekannten mechanischen Gesetzen erklärt werden, wonach der Effect dem Producte aus der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist, so mufs bei der Feinheit des elektrischen Fluidum's seine Geschwindigkeit aufserordentlich grofs angenommen werden.

§. 170.

Insbesondere darf die chemische Wirksamkeit der Elektricität nicht übersehen werden. Sie ist am stärksten bei der durch Berührung heterogener Metalle hervorgebrachten Elektricität, zeigt sich aber gleichfalls bei der durch Reibung entwickelten, obwohl in einem, in Vergleichung mit der elektrischen Spannung beider, verhältnifsmäfsig sehr geringen Grade, sowohl zerlegend als auch verbindend. Ob der specifische Geruch und ein diesem ähnlicher Geschmack, welche die Elektricität hervorbringt, gleichfalls einer chemischen Zerlegung zuzuschreiben sind, oder von einer unmittelbaren Einwirkung einer der Elektricität eigenthümlichen Grundlage herrühren, ist zwar noch nicht mit Sicherheit ausgemacht, jedoch scheint die leztere Meinung aus überwiegenden Gründen die richtige zu seyn.

Die chemische Kraft der Elektricität zeigt sich insbesondere durch die Zerlegung des Wassers in seine Bestandtheile [1]. Wegen der mechanischen Gewalt, welche die Elektricität gegen das schlecht leitende Wasser ausübt, ist es schwer, diese Wirkung vermittelst des Batteriefunkens zu erhalten, um so mehr, da der einfache Funke nur selten zur Zerlegung des Wassers stark genug ist. Am leichtesten ist der Versuch, wenn man nach v. Marum [2] sehr feine Drähte in Haarröhrchen einschmelzt, diese unten abschleift, so dafs die Enden der Drähte metallisch zum Vorschein kommen, diese Röhrchen in eine gröfsere Röhre mit Wasser bis zur Entfernung von etwa 0,5 Lin. von einander einsenkt, und mäfsige Flaschenschläge wiederholt hindurch leitet. Wollaston [3] füllte später Goldauflösung in die feinsten Haarröhrchen, welche durch Glühen reducirt sich in einen feinen Metallfaden verwandelte, und zerlegte das Wasser vermittelst so vorgerichteter Röhrchen; indefs bleit v. Marum's Apparat der einfachste und zweckmäfsigste, und die dennoch stattfindende Gefahr des Zersprengens wird leicht beseitigt, wenn man zu besserer Leitung Kochsalzhaltiges Wasser statt des reinen Wassers wählt.

Läfst man elektrische Funken anhaltend vermittelst zweier Drähte durch Lackmustinctur, oder über nasses, mit Lackmus gefärbtes Papier schlagen, so zeigt sich eine Röthung am positiven Drahte, und bei vorausgegangener schwacher Röthung des Papiers unter dem negativen Drahte eine Herstellung der blauen Farbe.

Atmosphärische Luft in einer Röhre anhaltend durch den einfachen Funken elektrisirt erzeugt Salpetersäure mit starker Raumverminderung, nach Cavendish [4]. Auch kohlensaures Gas, anhaltend durch Funken elektrisirt, wird zum Theil in Kohlenoxydgas durch Abgeben eines Theils Sauerstoff an die Metalle verwandelt [5]. Mehrere solche chemische Verbindungen findet man in den ausführlichen Werken über die Elektricität, namentlich dem von Singer. Indefs ist es ausgemacht, dafs die Reibungselektricität im Allgemeinen nur geringe chemische Wirkungen zeigt, weil die Menge der auf diese Weise erzeugten verhältnifsmäfsig

[1]) S. v. Marum in J. de ph. XXXV. 369. Ritter in Gilb. Ann. IX. 1.
[2]) S. ann. de chim. XLI. 77. Gilb. Ann. XI. 220.
[3]) Phil. Trans. XCI. p. 427.
[4]) S. phil. tr. LXXV. p. 372 und LXXVIII. p. 261.
[5]) S. Saussure in Gilb. Ann. XLI. 129.

nicht groſs, und die vorhandene wegen mangelnden Gebundenseyns zu sehr expandirt ist. Dieses gilt zunächst vom einfachen Funken. Wendet man dagegen Flaschenschläge an, so wirken diese nur in Unterbrechungen, mithin ungleich schwächer als der anhaltende Strom einer Volta'schen Säule. Am besten ist es daher eine starke Maschine und groſse Batterie anzuwenden, dabei aber die Vorrichtung so zu treffen, daſs nur kleine, aber schnell auf einander folgende Funken die zu zerlegenden Substanzen durchströmen.

Hierher gehört auch wahrscheinlich die Ausscheidung des Lichtes aus phosphorescirenden Substanzen, z. B. wenn man den verstärkten Funken über ein Stück Kreide schlagen läſst, oder Canton'schen Phosphor in Glasröhren an den elektrischen Conductor hält [1]). Auch Eier, Obst und andere Körper geben einen Lichtschein, wenn der elektrische Funke hindurch geht, selbst ein Finger, ein Stück Pfeifenthon oder Bimsstein werden leuchtend, wenn man sie über eine hölzerne Rinne legt, in welcher die Drähte des allgemeinen Entladers 0,5 Zoll von einander abstehen [2]).

Die Wirkungen der Elektricität zur Erzeugung des Magnetismus kommen später vereint zur Untersuchung.

§. 171.

Sehr merkwürdig, zugleich aber noch keineswegs hinlänglich erforscht ist endlich der Einfluſs der Elektricität auf den lebenden Organismus sowohl der vegetabilischen als auch der animalischen Natur. Hinsichtlich des ersteren ist noch nicht ausgemacht, ob auſser der mechanischen Bewegung die Pflanzen überhaupt durch die Elektricität afficirt werden. Dagegen ist ihre Wirksamkeit auf den animalischen Lebensproceſs keinen Augenblick zu verkennen, indem das Nervensystem von dem schwächsten bis zum heftigsten, die Thätigkeit desselben und den ganzen organischen Proceſs zerstörenden, Reitze ihrem Einflusse unterworfen ist.

---

1) S. Nicholson J. XV. 281. XVI. 101. XIX. 153.

2) S. Singer Elektricitätslehre p. 133.

Ueber den Einflufs der Elektricität auf die Vegetation geben die verschiedenen Beobachtungen und Versuche sehr verschiedene Resultate, indem einige behaupten, dafs der Vegetationsprocefs durch dieselbe erhöhet, andere, dafs er unterdrückt werde, noch andere bezweifeln alle Einwirkung derselben auf lebende Pflanzen. Lezteres scheint, sofern von den Wirkungen der ausströmenden einfachen Elektricität die Rede ist, als Endresultat der vielen Versuche das Wahrscheinlichste zu seyn [1]. Indefs tödtet ein starker Flaschenschlag allerdings auch das Leben in den Vegetabilien, namentlich den Weidenästen [2]. Am ausführlichsten über diesen Gegenstand mit sehr vollständiger Literatur sind die gehaltreichen Untersuchungen und eigenen Experimente von Ritter [3].

Der Einflufs der Elektricität auf den animalischen Organismus ist schon deswegen keinen Augenblick zu bezweifeln, weil sie durch die Nerven so lebhaft und stark empfunden wird. Man fafst das Ganze meitens unter dem Ausdrucke der *medicinischen Elektricität* zusammen. Ehemals hielt man dieselbe für ein Universalmittel gegen jede Krankheit, wovon man später zurückgekommen ist, und sie mehr, als billig hätte geschehen sollen, vernachläfsigt hat. Im Allgemeinen gehen aus eigenen sowohl als aus fremden Erfahrungen folgende Resultate hervor.

1) Um die Elektricität in den erforderlichen Fällen mit Erfolg anzuwenden, darf man keine zu kleine Maschine gebrauchen. Eine Scheibe von 18 bis 28 par. Zoll Durchmesser ist zur gehörigen Wirksamkeit erforderlich.

2) Da wir die Elektricität nicht im Zustande des Gleichgewichts, sondern blofs nach Aufhebung desselben kennen, so scheint hiernach der Unterschied zwischen den Wirkungen der + und — Elektricität minder bedeutend; auch giebt die Erfahrung über einen solchen Unterschied keine Auskunft.

3) Die Mittheilung der Elektricität ist wirksamer, wenn man den Menschen auf dem Isolatorio elektrisirt und ihm die erhaltene Elektricität an einzelnen Theilen durch genäherte Leiter entzieht, als wenn man gegen einzelne Theile desselben im Zustande der Nichtisolirung die Elektricität aus einem geladenen Conductor strömen läfst.

---

[1] S. v. Marum in Gilb. Ann. I. 112.

[2] S. v. Marum ebend. I. 256.

[3] S. Münch. Denkschr. 1809 u. 10. Vergl. Nasse in Gilb. Ann. XLI. 392.

4) Im allgemeinen ist die Elektricität ein Reitzmittel, und als solches vielleicht eins der stärksten, wo nicht überhaupt das stärkste. Dasselbe kann daher nur in denjenigen Fällen angewandt werden, wenn bei verminderter Thätigkeit ein Reitz, vorzüglich der Nerven und der Organe überhaupt, erforderlich ist, insbesondere bei Rheumatismen, Apoplexieen, Stockungen der Säfte, Unthätigkeit der Muskeln, Lähmung, Betäubung durch den Blitz u. s. w.

5) Am schwächsten und ohne leicht möglichen nachtheiligen Erfolg kann die Elektricität durch scharfe metallene Spitzen mitgetheilt werden, stärker durch stumpfe oder hölzerne Spitzen, durch kleine Kugeln, und mit immer wachsenden Kugeln in steigender Progression bis zu den stärksten Funken. Flaschenschläge dürfen nur mit Vorsicht und bloſs bei gröberen Organen angewandt werden, weil sie leicht überreitzen und dadurch völlige Unthätigkeit herbeiführen können.

6) Die Wirkung dieses Mittels ist meistens momentan, und in den geeigneten Fällen nur sehr selten ausbleibend. Indeſs ist eine längere Anwendung desselben oft nothwendig und nicht selten von günstigem Erfolge.

Einige Menschen sind mehr, andere weniger empfindlich gegen den Einfluſs der Elektricität. Von einer gänzlichen Unempfindlichkeit gegen dieselbe ist bis jezt noch kein Beispiel bekannt, indem das einzige, bisher angegebene [1]), auf keinem sicheren Grunde beruhet [2]).

Die erforderlichen Apparate (welche oft zusammengesetzter eingerichtet werden als nöthig ist) sind hiernach leicht zu bestimmen. Sie bestehen hauptsächlich aus einer isolirenden Glasstange als Handhabe, um eine Metallspitze oder eine Platte mit mehreren Spitzen und Drähte mit Kugeln von ungleicher Gröſse darauf zu schrauben. Die feinsten Spitzen dienen hauptsächlich dazu, um den Augen ohne irgend eine Gefahr Elektricität zuzuführen. Zum Isoliren der Personen bedient man sich eines Tisches von 5 bis 8 Z. Höhe mit massiven Glasfüſsen, und von hinlänglicher Gröſse, um einen Stuhl darauf zu setzen und zugleich noch den erforderlichen Raum für das Aufstellen der Füſse zu behalten. In Ermangelung eines solchen kann man auch die Füſse eines gewöhnlichen Stuhles in trockne Biergläser

1) S. Gilb. Ann. XIV. 423.

2) S. Stieglitz über d. thier. Magnet. Hann. 1811. p. 31.

stellen, und für die Füfse eine auf gleiche Weise isolirte Bank wählen.

Zur Tödtung lebender Wesen bedarf es keiner übermäfsig grofsen Batterieen. Mir ist ein Fall bekannt, dafs ein erwachsener Mann durch einen Flaschenschlag aus einer einzelnen, nicht völlig zwei Quadratfufs Belegung haltenden Flasche, welcher durch die Arme und Brust ging, auf etwa eine Stunde betäubt wurde, und 10 Quadratfufs Belegung geben bei voller Ladung gewifs einen Schlag, welcher auf gleiche Weise oder noch mehr durch das Gehirn geleitet, Betäubung oder den Tod bei jedem erwachsenen Menschen hervorbringen würde. Die Ursache liegt, wie beim Blitze, in einem Ueberreitze der Nerven.

Ueber die Tödtung kleiner Thiere durch Elektricität sind eine Menge Versuche, z. B. von Raschig [1]) angestellt. Es steht dabei die Schwierigkeit entgegen, dafs der Funke leicht über die Oberfläche hinfährt, ohne in den Körper einzudringen, und auf solche Weise ohne Erfolg bleibt. Merkwürdig ist, dafs ein durch den Kopf eines Aales geleiteter Flaschenschlag die Lebensthätigkeit desselben gänzlich zerstört, obgleich sich dieselbe nach abgeschnittenem Kopfe noch durch krampfhafte Zusammenziehungen der einzelnen Stücke zeigt. Die Fische sind überhaupt gegen den Einflufs der Elektricität sehr empfindlich [2]).

---

[1]) Gilb. Ann. XXXI. 204.

[2]) Aus der weitläuftigen Literatur über d. medicinische Elektricität führe ich nur die wichtigsten Werke an. Bohadsch Diss. philos. med. de utilitate electrisationis in curandis morbis. Pragae 1751. 4. New Thoughts on medical Electricity. Cumberlage 1782. 8. Rapport sur les avantages reconnus de la nouvelle methode d'administrer l'electricité (par Comus). Par. 1783. De l'electricité du corps humain dans l'état de la santé et de la maladie cet. par Bertholon de St. Lazare. Par. 1780. 12. Mémoire sur l'electricité medicale cet. par M. de Cazeles. Par. 1782. J. G. Bökh Beiträge zur Anwend. der El. auf den menschlichen Körper. Erlangen 1791. K. G. Kühn Geschichte der med. Elektr. 2 vol. Leipzig 1783 und 85. Tib. Cavallo Vers. über die Theorie und Anwendung der medicinischen E. aus dem Engl. Leipzig 1792. Paets v. Troestwyk, Krayenhof und Deimann von den guten Wirkungen der E in verschiedenen Krankheiten aus dem Holländischen von Kühn. Leipzig 1793. 2 vol. Dissertatio inaug. medica, sistens experimenta quaedam influxum electricitatis in sanguinem et respirationem spectantia. auct. Schübler. Tüb 1810. Viele einzelne Beobachtungen sind z. B. von v. Marum in Gilbert Ann I. 88. von Thieri, ebend. XLVIII. 108. von Clark durch voltasche E. in Schweigg Journ. XVII. 337. Ueber die Unzulässigkeit ihrer Anwendung gegen Taubheit und Gehörkrankheiten überhaupt handelt Ittard in: die Krankheiten des Ohr's und des Gehör's. Aus

§. 172.

Aufser den genannten Mitteln zur Hervorbringung der Elektricität verdient vorzugsweise noch dasjenige genannt zu werden, welches die Natur einigen Fischen gegeben hat. Die Kraft derselben in Ertheilung elektrischer Flaschenschläge ist im Verhältnifs zu ihrer Gröfse unglaublich stark, scheint ausschliefslich in einem gewissen Organe zu liegen, welches durch seine besondere Structur die mit dieser individuellen Kraft versehene Species von der Gattung unterscheidet. Am merkwürdigsten hierbei ist der Umstand, dafs bei anscheinend vollständiger Leitung dennoch eine so starke elektrische Spannung stattfinden kann, und dafs dieselbe unverkennbar von dem Willen der Thiere abhängig, zugleich auch ihrer Lebenskraft direct proportional ist, durch die Ausübung aber derselben nachtheilig wird.

Dafs der animalische Lebensprocefs im Allgemeinen mit dem Wechsel des elektrischen Gleichgewichts und der Aufhebung desselben in Verbindung stehe, wie schon aus der Analogie folgt, insofern alle Verbindungen und Trennungen, wenn auch nur schwache Spuren erregter Elektricität zeigen, ist nach den wenigen darüber bekannten Thatsachen nicht zu bezweifeln. Indefs fehlen die nöthigen Beobachtungen über das elektrische Verhalten der verschiedenen Thiergattungen und einzelner Individuen bei verschiedenen Zuständen ihrer Lebensthätigkeit. Der Mensch zeigt bei der Berührung eines feinen Elektrometers nach Hemmer [1]) meistens +, nach Pfaff und andern meistens — E. deren Stärke der Ausdünstung proportional scheint, und nach Parrot [2]) mit dem Athmungsprocesse zusammenhängen soll. Einzelne Individuen zeigen ein vorzüglich starkes Vermögen zur Hervorbringung der Elektricität welche beim Wegnehmen der Bekleidung oft selbst bis zur Erzeugung

---

dem Fr. Weimar 1822. p. 227. Selbst bei den Römern wurden die Entladungen des torpedo el. gegen anhaltende Kopfschmerzen und gegen Podagra angewandt. S. Erman in Gilb. Ann. XI. 144.

1) Hist. et Comm. Acad. Sc. Theod. Palat. VI. p. 119.

2) S. Theoret. Phys. II. 562.

von Funken sichtbar wird. Man erzählt z. B. dafs Carl Gonzaga Herzog von Mantua, durch Reiben seines Körpers Funken hervorbringen konnte, und eben so Theodorich der Grofse. Eben dieses beobachtete Brydone an den Haaren einer Sicilianerin, und an einem Marineoffizier [1]).

Bei diesen Thatsachen ist es merkwürdig, dafs nach den Versuchen von Pouillet [2]) weder der Blutumlauf an sich, noch auch die Nerventhätigkeit mit Entwickelung von Elektricität verbunden ist. Es wurden nämlich mit einem empfindlichen Multiplicator vereinigte Drähte an verschiedenen Orten des menschlichen Körpers so eingestochen, dafs ihre Spitzen mit dem strömenden Blute oder den Nerven in Verbindung standen. Wenn dieselben dann oxydirbar waren, so kam allerdings Elektricität zum Vorschein, bei nicht oxydirbaren Metallen zeigte sich indefs keine Spur einer Wirkung. Versuche dieser Art sind sehr schwierig, verdienen aber wegen ihrer Wichtigkeit Wiederholung, wo nicht an Menschen, doch an Thieren. Die erhaltenen Resultate stehen übrigens indirecte im Widerspruche mit demjenigen, was Vasalli Eandi [3]) und insbesondere Bellingeri [4]) gefunden haben. Wenn diese nämlich den verschiedenen Theilen des thierischen Körpers verschiedene und zugleich an Stärke wechselnde Elektricität beilegen, so heifst dieses nach den richtig verstandenen zahlreichen Versuchen, namentlich von Bellingeri, nichts anders, als dafs die festen und flüssigen Theile des thierischen Körpers verschiedene, und während der Lebensdauer mit dem Gesundheitszustande wechselnde Stellen in der elektrischen Reihe der Körper §. 173 einnehmen. Unter ihnen ist das Venenblut im Ganzen sich selbst stets gleich, und nimmt in der Volta'schen Reihe den Platz des Eisens ein, die übrigen Flüssigkeiten nähern sich mehr den negativ elektrischen Metallen, auch ist ihr elektrisches Verhalten nach dem Alter und der sonstigen Constitution verschieden. Ist dieses richtig, so müfste die Verbindung derselben nothwendig galvanische Wirkungen, und zwar nach der Gröfse des Ab-

---

[1]) S. dessen Reisen d. Ueb. Leipzig 1777. Vergl. Bertholon de St. Lazare in: die Elektricität aus medicinischem Gesichtspuncte betrachtet. Aus dem Fr. Bern 1781. 8 und die Beobachtungen von Remer in Gilbert Annalen XVII. 31.

[2]) S. Journ. de Phys. par Magendie. T. V. p. 1.

[3]) Journ. de Phys. T. V. p. 336.

[4]) Mém. della R. Accad. delle Sc. di Torino. T. XXIV. und XXV.

standes dieser Substanzen in der galvanischen Reihe solche zeigen, welche vermittelst des Multiplicators meſsbar sind.

Der elektrischen Fische giebt es sechs Gattungen, vier Seefische und zwei Fluſsfische. Die ersteren sind der Zitterrochen *Raia torpedo* [1]). Von den verschiedenen Arten kommen zwei, *T. ocellata* oder *vulgaris T. marmorata* oder *Galvanii* in südeuropäischen Meeren vor; der *Rhinobatus electricus* [2]); der elektrische Spitzschwanz, *trichiurus indicus*, wenn dieser anders elektrisch ist [3]) und der elektrische Stachelbauch *tetrodon* electricus [4]). Die lezteren sind, der gröſste unter den Fluſsfischen und überhaupt der mächtigste, der Zitteraal, *gymnotus* electricus [5]) und der Zitterwels, *silurus* electricus [6]).

Das el. Organ dieser Fische, welches bei den verschiedenen Species nicht wesentlich verschieden ist, besteht im Allgemeinen aus einer Menge Häuten und Zellen, die mit einer gallertartigen, viel Eiweis enthaltenden, Flüssigkeit gefüllt sind. Aus einer Vergleichung desselben mit andern el. Apparaten läſst sich übrigens die Wirkung keineswegs vollständig erklären, obwohl Lacépède [7]) dasselbe mit einer Flasche vergleicht, indem er die Nerven und weichen Theile für Leiter, die sehnigen Blätter aber für Nichtleiter hält, und Volta sie der von ihm erfundenen Säule im Bau und in der Wirkung gleich setzt [8]). Ohne Widerrede gehört dieses Organ unter die merkwürdigsten el. Apparate.

---

1) S. Todd's Versuche in Phil. Trans. 1816. I. p. 120 und in Schweigg. Journ. XIX. 10. Walsh in phil. trans. LXIII. 461.

2) S. Schneider systema Ichthyologiae Blochii. Berol. 1801. p. 356.

3) S. Cuvier regne animal. T. II. p. 247.

4) S. Patterson in phil. trans. LXXVI. 381.

5) S. Bloch Naturgeschichte der ausländischen Fische II. 43. Hunter in phil. trans. LXV 395. Vergl. v. Humboldt's Reisen. D. Ueb. T. III. p. 294, Gilbert Ann. XXV. p. 34. Der berühmte Reisende beschreibt die Versuche, welche er anstellte, um die enorme el. Kraft der Gymnoten, die bis 5 F. 3 Z. lang werden, und bei 3 Z. Länge 12 ℔ wiegen, kennen zu lernen Wurden Maulthiere in das Wasser getrieben, worin sich diese Fische befanden, so legten sich diese unter den Bauch derselben, und vermogten sie mit einem Schlage so zu betäuben, daſs sie niedersanken, und meistens durch schleunige Hülfe gegen das Ertrinken gesichert werden muſsten.

6) S. Broussonet in Mém. de Par. 1782. insbesondere Geoffroi in Ann. du Musée d'Hist. nat T. I. p. 392. Vergl. v. Humboldt Reis. d. Ueb. Th. III. p. 301. Gilb. Ann. XXII, 1.

7) S. Hist. nat. des poissons. p. 166.

8) S. Ann. de Chim. XL. 225—256.

Wesentlich dabei ist der Umstand, dafs dasselbe dem Anscheine nach im gewöhnlichen Zustande nicht isolirt ist, und dafs seine Wirksamkeit vom Willen des Thieres abhängt. Die el. Fische pflegen nämlich zuerst zu versuchen, ob der Kreis, durch welchen sie den el. Schlag leiten wollen, geschlossen ist, auch bleibt derselbe selbst unter dieser Bedingung oft eine geraume Zeit aus, und erfolgt dann so plötzlich, dafs man die dabei stattfindende Willkühr deutlich wahrnimmt. Wiederholte Schläge ermüden das Thier nicht blofs, sondern vermindern die Lebenskraft desselben, und führen einen früheren Tod herbei. Man hat unter gleich kräftigen Individuen bei dem einen die Verbindung zwischen dem Gehirn und dem Organe getrennt, bei dem andern nicht, und es ergab sich dann, dafs das erstere das Vermögen, Schläge zu ertheilen, verlor, dann aber länger lebte als das andere, welches wiederholt dazu gereitzt wurde [1].

§. 173.

Wenn zwei heterogene oder nur verschieden modificirte Metalle in unmittelbare Berührung gebracht werden, so erregen sie wechselseitig in einander verschiedene Elektricitäten. Selbst mehrere andere Substanzen besitzen das Vermögen, durch Berührung die entgegengesetzten Elektricitäten in einander hervorzurufen. Meistens aber ist dieselbe blofs durch die Nerven kaltblütiger Thiere, vorzüglich der Frösche, oder durch ihren Einflufs auf die Magnetnadel, als feinste

---

[1]) Genaue Beschreibungen dieser Organe finden sich bei Lacépède a. a. O. Monro Vergleichung des Baues und der Physiologie der Fische d. Ueb. Leipz. 1787. Hunter in Phil. Trans. 1773. Vol. LXIII. p. 480. Cavendish ebend. LXIV. Geoffroy in Ann. du Mus. d'hist. nat. I. 392—407. Reaumur in Mém. de l'Acad. 1714. Hist. p. 14. Spallanzani in Opusculi scelti di Milano. 1783. Lichtenb. Mag. II. St. 3. p. 89. Mem. di Mat. et Fis. della Soc. Ital. T. II. p. 603. Lichtenb. Mag. V. St. 3. p. 41. u. v. a. Ausführlich über torpedo, silurus und gymnotus, und mit vieler Literatur ist Cavallo vollständige Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der Elektricität II. 226. ff., sehr vollständig und gründlich über das Ganze handelt Pfaff in Gehler's Wörterb. Th. IV. p. 275 ff. Gegenwärtig ist H. Davy mit Untersuchungen der europäischen el. Fische beschäftigt.

elektroskopische Apparate wehrnehmbar; sie wurde daher von dem Entdecker Galvani als eine eigenthümliche Potenz angesehen, und nach ihm *Galvanismus* genannt. Jedoch läfst sich diese Wirkung auch an feinen Elektrometern durch Hülfe der Condensation sichtbar machen, welches Volta zuerst darthat, und ein solches Paar verbundener heterogener Metalle als einfaches Element eines neuen elektromotorischen Apparates, der nach ihm benannten *Säule,* darstellte.

Aloysius Galvani, Prof. in Bologna, wollte die Reitzbarkeit der Nerven durch El. untersuchen, und entdeckte, dafs ähnliche Zuckungen, als diese hervorzubringen pflegt, zufällig bei präparirten Fröschen entstanden, indem er dieselben, mit einem kupfernen Haken durchstochen, an einer eisernen Stange aufhing, sobald beide Metalle mit einander in Verbindung kamen. Dafs hierbei eine eigenthümliche, den lebenden Wesen zugehörige, und durch die Berührung mit dem Metalle hervorgerufene Potenz thätig sey, suchte er dadurch zu beweisen, dafs auch ein einziges Metall, mit dem Crural-Nerven und dem Rückenmark zugleich in Verbindung gebracht, die Erscheinung, wiewohl in einem viel geringeren Grade hervorzubringen pflege [1].

Alexander Volta dagegen leitete von Anfang an die Erscheinung aus der Berührung der Metalle her, behauptete, dafs diese eben hierdurch in sich selbst die entgegengesetzten Elektricitäten hervorriefen, erklärte zugleich die durch ein einziges Metall hervorgebrachten Wirkungen aus einem geringen Unterschiede der Beschaffenheit desselben, und stellte die Nerven, vorzüglich der kaltblütigen Thiere, als die feinsten elektroskopischen Substanzen dar. Lezteres ist späterhin vollkommen bestätigt; die Reitzbarkeit dauert lange nach dem Tode fort, und wird, wenn sie schon verschwunden ist, oft durch Säuren oder Alkalien wieder hervorgerufen [2]. Durch Versuche zeigte derselbe [3], dafs die Metalle ein sehr verschiedenes Vermögen besitzen, El. durch Berührung zu erzeugen, u. z. + und — in folgender

[1]) S. Al. Galvani Abhandl. über die Kräfte d. thier. El. u. s. w., herausgegeben von J. Mayer. Prag 1793. 8.

[2] Vergl. A. v. Humboldt über d. gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s w. Berl. 1797.

[3]) Gren N. Journ. d. Ph. IV. 127.

Reihe, wobei die Stärke der erregten El. ihrem Abstande in einem nicht stets gleichbleibendem Verhältnisse proportional ist: Zink; Zinn; Blei; Eisen; Messing; Kupfer; Platin; Gold; Silber. Zum Beweise stellte Volta folgende Versuche an. Er legte eine ebene Scheibe Zink auf eine Scheibe Silber und prefste sie gegen einander, brachte abwechselnd die eine und die andere in leitende Verbindung mit der Erde, und entdeckte dann durch Hülfe des Condensators an der ersteren + El. an der andern — El. Trennte er beide nach der Berührung durch isolirende Handgriffe, so zeigten sie jede die genannte El. Noch leichter zeigte sich dieses, wenn er einen Streifen Silber und einen Streifen Zink an einander löthete, und entweder das Zink-Ende oder das Silber-Ende in der Hand haltend mit dem andern den Condensator berührte. Legte er eine Scheibe Silber zwischen zwei Scheiben Zink, oder eine Scheibe Zink zwischen zwei Scheiben Silber, so zeigte sich keine el. Spannung, wohl aber war dieses der Fall, wenn er auf die zwei Scheiben Silber und Zink einen angefeuchteten Leiter, z. B. eine Papp- oder Tuchscheibe, und auf diesen eine Metallplatte legte. Leztere zeigte dann die El. der oberen Platte, während die untere die entgegengesetzte behielt. Die El. dringt also durch diese feuchten Zwischenmittel, welche allerdings die El. leiten, aber nicht hervorzubringen vermögen.

Hiernach theilt Volta die Körper in *Leiter der ersten Classe,* welche die El. leiten und zugleich hervorrufen, und in *Leiter der zweiten Classe,* welche die El. blofs durchlassen, ohne sie zu erregen. Unter die ersteren gehören die Metalle, Magnesiumoxyd, Holzkohle u. a., unter die lezteren die Säuren, Salzauflösungen, Alkalien in Wasser gelöset und Wasser. Die Stärke des Erregungsvermögens ist bei verschiedenen Metallen verschieden; nach Volta zwischen Zink und Silber = 12; zwischen Silber und Kupfer = 1; zwischen Kupfer und Eisen = 2; zwischen Eisen und Zinn = 3; zwischen Zinn und Blei = 1; zwischen Blei und Zink = 5. Hiernach ist die Summe der erregenden Kräfte aller Zwischenglieder der Erregungskraft der äufsersten genau gleich. Ein verbundenes Paar Metalle ist hiernach ein einfaches elektromotorisches, nach Beschaffenheit derselben stärkeres oder schwächeres Element [1]).

---

[1]) S. Schriften üb d. thier. El. von Volta, herausgegeben von Mayer. Prag 1793. 8. C. Pfaff dissert. de el. anim. Stuttg. 1793. 8. Ritter Beiträge zur näheren Kenntnifs des Galvanismus. Jena 1800. Gilbert Ann. VI. 340. X. 389. XII. 497. u. a. a. O.

Volta's angegebene Bestimmung der elektrischen Reihe der Körper ist noch immer in Ansehn, indefs giebt es auch andere, welche auf genauen Versuchen beruhen. Er selbst hat noch folgende Reihe, vom elektropositivsten anfangend, angegeben [1]: Zink, im Wasser gelöschte Kohle, Zinnfolie, Blei, Zinn, Antimon, Bronze, Semilor, Messing, Kupfer, Platin, Silber, Gold, gemeine Kohle, Graphit, Braunstein, Goldoxyd, Kohle mit Sauerstoffgas gesättigt. Nach **Davy** [2] ist die Reihe der Metalle folgende: Zink, Eisen, Zinn, Blei, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Holzkohle. Ebenderselbe fand, dafs trockne Salze oder Säuren mit Metallen in Contact gebracht + el. werden, und die Metalle — el., ferner dafs ein ähnlicher el. Gegensatz zwischen allen Substanzen stattfindet, welche chemisch auf einander einwirken, dafs ihre Theile sich daher verbinden müssen, wenn ihre gegenseitige el. Anziehung den Widerstand der Aggregation überwindet, welches dann die Grundlage des *Elektrochemismus* ist. Vermittelst des neuerdings entdeckten Hülfsmittels, nämlich des Einflusses der El. auf die Magnetnadel, konnte man die Spannungsreihe der Körper noch genauer untersuchen, als dieses vorher möglich war. Unter den hierdurch erhaltenen Bestimmungen verdienen namentlich die von **Poggendorf** [3] genannt zu werden, wonach vom el. positivsten zum el. negativsten Zink, Kadmium, Mangan, Blei, Zinn, Eisen, Stahl, Uran, Messing, Kupfer, Magneteisenstein, Kupfernickel, Kobalt, Wismuth, Antimon, Arsenik, Chrom, Silber, Nickel, Quecksilber, Tellur, Gold, Bleiglanz, Kohle, Platin, Graphit, Manganhyperoxyd auf einander folgen. Wenig abweichend hiervon ist die von **Marianini** [4] aufgefundene, nämlich: Zink, Kohle in dem Augenblick, wo sie glühend ins Wasser getaucht wird, Blei, Zinn, Mangan, Eisen, Magneteisen, Messing, Kupfer, Wismuth, Nickel, im Wasser gelöschte Kohle, Antimon, Zinnober, Molybdänglanz, Arsenik, Silber, Antimonsilber, Rothgültigerz, Bleiglanz, langsam erkaltete Kohle, Arseniknickel, Fahlerz, Kobaltglanz, Tellur, Kupferkies, Platin, Gold, Graphit, Arsenikkies, Schwefelkies, Graubraunsteinerz, oxydirte, lange der Luft ausgesetzte Kohle.

Eben so, wie geringe Modificationen der Körper bei der

---

1) Gehlen N. Journ. II. 557.
2) Ann. de Chim. LXIII. p. 229. ff.
3) Isis. Jahrg. 1821. p. 706.
4) Schweigg. Journ. N. R. XIX 48.

Reibung sie bald + bald — el. werden lassen §. 158, ist dieses auch bei der Berührung der Fall, wie namentlich aus den verschiedenen Stellen hervorgeht, welche die Kohle unter abändernden Umständen einnimmt, verschiedener anderer nicht zu gedenken. Darf man aber nach der elektrochemischen Theorie die chemischen Verbindungen als Folgen eines ungleichen el. Verhaltens betrachten, so bietet die Natur in der El. ein eben so allgemeines als wirksames Mittel zu den stets wechselnden Verbindungen und Trennungen dar. Einen sehr bedeutenden Einfluſs auf die Erregung der El. durch Berührung und den Platz, welchen die Körper in der el. Reihe einnehmen, hat zugleich auch die Wärme §. 150, weswegen man auch eine eigene Abtheilung, nämlich *Thermoelektricität* zu machen pflegt, welche aber mit dem *Thermomagnetismus* §. 200 zusammenfällt.

Fast von gleicher Wichtigkeit, als der Abstand der Körper in der elektrischen Reihe von einander ist für die zur Erzeugung der Berührungselektricität erforderlichen Apparate die Leitungsfähigkeit der flüssigen Körper, welche die Elektromotoren mit einander verbinden, oder der oben genannten *Leiter der zweiten Classe*, welche nach Volta die El. nicht erregen, sondern sie bloſs durchlassen. Als solche werden diese, namentlich die Flüssigkeiten, in der Regel angesehen, allein es versteht sich von selbst, daſs sie zugleich auch als Elektromotoren, oder Leiter der ersten Classe betrachtet werden können [1]), insofern nach feinen Versuchen alle Körper in einem gewissen el. Verhältniſs zu einander stehen, und daher auch in der Berührung El. erzeugen müssen, deren Stärke indeſs namentlich bei den Flüssigkeiten in Vergleichung mit den oben genannten so geringe ist, daſs man sie nur als Leiter, u. z. als unvollkommene zum Unterschiede der vollkommenen Leiter und der Isolatoren betrachtet. Ueber das Leitungsvermögen der verschiedenen Flüssigkeiten, welchem Volta unter übrigens gleichen Bedingungen die Wirksamkeit seiner Säule direct proportional setzt, sind sehr viele Versuche vorhanden, aus denen folgt, daſs im Allgemeinen die Säuren, meistens jedoch die mit Wasser verdünnten, die besten Leiter sind, dann die Salzlösungen und endlich Wasser, welches nach Marianini [2]) hundertmal schlechter leiten soll, als

[1]) Nach Volta's Versuchen in Ritter's Beiträgen Bd. II. St. 3 u. 4. p. 51.
[2]) Schweigg N. J. XIX. p. 301

Seewasser. Ebenderselbe verglich vermittelst der Gröfse der Abweichung einer Magnetnadel die Leitungsfähigkeit des Seewassers mit der von verschiedenen Substanzen, wovon 1 Theil in 100 Theilen reinem Wasser gelöset war, und erhielt unter anderen folgende Resultate: Seewasser = 100; flüssiges Ammoniak = 32,6, phosphors. Natron = 46,0; schwefels. Zink = 51,64; Kali = 55,68; salzsaures Eisenoxydul = 56,53; salpeters. Kalk = 57,0; schwefels. Eisenoxydul = 62,26; schwefels. Magnesia = 62,64; doppelt kohlens. Kali = 66,7; kohlensäuerliches Natron = 69,2; schwefelsaures Natron = 74,2; schwefels. Kali = 80,0; salzs. Natron = 84,79; Alaun = 85,0; Citronensäure = 85,71; Essigsäure = 87; Weinsteinsäure = 98,66; salzs. Kalk = 110, Phosphorsäure = 127; Salmiak = 150; Salzsäure = 164; Schwefelsäure = 239; Salpetersäure = 353; salzs. Platin = 418. Förstemann [1]) theilt folgende Resultate mit:

Substanzen	Spec. Gew.	Leitungsvermögen.
Wasser	1,000	1000
Bleizuckerlösung	1,132	1560
Kochsalzlösung	1,166	1672
Wässeriges Kali	1,172	1709
Vitriolöl	—	1737
Salmiaklösung	1,064	1972
Wässeriges Ammoniak	0,936	2177
Salpetersäure	1,236	2283
Essigsäure	1,020	2398
Salzsäure	1,126	2464

Weingeist und Schwefeläther sind noch Schlechtere Leiter als Wasser.

Die oben angezeigten Volta'schen Fundamental-Versuche sind schwierig, und gelingen nicht immer, indefs sind sie doch auch von andern mit Erfolg angestellt, z. B. von Jäger [2]), von Bohnenberger [3]), von C. H. Pfaff [4]), durch Hare vermittelst eines empfindlichen Blattgoldelektrometers [5]) u. a. m., auch bestätigt der Verfolg der Untersuchungen die Richtigkeit dieser Thatsachen vollkommen. Man kann durch einen einfachen, schon durch Volta ange-

[1]) Kastner Arch. IV. p. 82.
[2]) S. Gilbert Ann. XLIX. 48.
[3]) S. ebend. LIII. 346 ff.
[4]) S. Schweigg. Journ. XVI. p. 129.
[5]) S. Edinb. Journ. of Science. N. I. 182.

gebenen Versuch sich leicht hiervon überzeugen, wenn man von zwei Platten Zink und Silber die eine auf die Zunge legt und sie mit der andern zwischen den Zähnen und der Oberlippe gehaltenen berührt. Eine ähnliche Erscheinung zeigt sich, wenn man einen zinnenen Becher auf eine silberne Platte stellt, und mit reinem Wasser füllt. Wird lezteres mit der Zunge berührt, so ist es milde, faſst man aber zugleich das Silber mit benetzten Fingern an, so wird der Geschmack säuerlich. Selbst ein zinnener Becher mit schwach alkalischer Lauge gefüllt, macht leztere positiv el., und die Flüssigkeit erregt auf der Zunge einen säuerlichen Geschmack, wenn man zugleich den Becher mit der nassen Hand berührt.

Lange wurde darüber gestritten, ob der Galvanismus mit dem el. Fluido identisch sey, oder nicht, bis wiederholte Versuche von Volta [1]), die von v. Marum und Pfaff in Haarlem mit den dortigen gröſsen Apparaten auf das Verlangen Volta's angestellten [2]) und viele andere für die Gleichheit beider entschieden. Alle spätere Untersuchungen haben auch übereinstimmend dargethan, daſs die genannten Wirkungen, welche durch Reibungselektricität erzeugt werden, sich auch durch Volta'sche Säulen hervorbringen lassen und umgekehrt. Wenn sich indeſs zwischen beiden zuweilen ein Unterschied in der eigenthümlichen Art der Wirkungen zeigt, so beruhet dieser hauptsächlich darauf, daſs bei der Reibungselektricität der Sättigungszustand aufgehoben, also im elektrischen Körper ein Ueberfluſs der einen und Mangel der andern erzeugt ist, in Folge dessen nur die im Ueberfluſs vorhandene sich mit der entgegengesetzten nach Auſsen zu sättigen strebt, und als ungebunden dabei eine groſse Spannung zeigt, bei zwei sich berührenden Metallen, oder überhaupt Volta'schen Elektricitäts-Erregern dagegen dieser Neutralisations-Zustand oder der o elektrische ununterbrochen durch den Conflict beider Körper aufgehoben wird. Indem aber die Elektrisirung der Körper, welche gleichfalls bloſs in einer Aufhebung dieses Neutralisationszustandes besteht, beweiset, daſs die Quantität beider in jedem Körper gebundener Elektricitäten auſserordentlich groſs ist §. 161, so ist es nicht zu verwundern, wenn bei der galvanischen Elektricitäts-Erregung eine so auſserordentliche Menge Elektricität zum Vorschein kommt.

---

[1]) S. dessen neueste Versuche über Galvanismus. Wien 1803.

[2]) S. Gilbert Ann. X. p. 121. Vergl. Volta ebend. XIII. 257.

Um diesen wichtigen Satz der Elektricitätslehre anschaulich zu machen dient hauptsächlich ein von Gay-Lüssac[1]) Fig. 208] gebrauchter Apparat. Ein elliptischer Bügel SZ besteht in seinen zwei Hälften aus Silber und Zink, welche zusammengelöthet sind. Beide Metalle stehen in der Reihe der Erreger weit von einander ab, d. h. das Zink wird im Conflicte beider + el., das Silber — el., und diesemnach giebt das Silber seine + E. an das Zink, lezteres seine — E. an das Silber ab. Durch feine Messungen können beide am Elektrometer wahrgenommen werden, und dieses ist dann der erwähnte Volta'sche Fundamentalversuch; allein für gewöhnliche Messungen vermittelst der Repulsion kann dieses aufgehobene Gleichgewicht nicht gemessen werden, weil jede der beiden Elektricitäten, ohngeachtet des dauernden Impulses zur Trennung, durch die entgegengesetzte gebunden bleibt. Wird eine der beiden Hälften dieses Bügels in verdünnte Säure (etwa 1 Th. Schwefels. 1 Th. Salpeters. auf mindestens 100 Th. Wasser) getaucht, welche zur Auflösung des Metalles nicht hinlänglich stark ist, so zeigt sich keine Gas-Entwickelung, auch ist eine hierzu erforderliche fortdauernde elektrische Strömung unmöglich, selbst wenn die andere Hälfte des Bügels mit einem ableitenden Körper verbunden ist, weil die Leitung für die geringe Spannung der mit der entgegengesetzten stets gleichsam in Berührung befindlichen Elektricität zu unvollkommen bleibt. Dieses Hindernifs fällt aber weg, wenn beide Hälften zugleich mit der Säure in Berührung kommen. In diesem Falle nämlich wird jedes Element der Hälfte Z, z. B. z, von seiner im Ueberflufs vorhandenen + E. an das berührende Element der Säure abgeben, jedes Element der Hälfte S aber, z. B. s, von seiner aufgehäuften — E. an das berührende Element der Säure, wodurch nothwendig eine Strömung durch f stattfinden mufs. Hierzu kommt aber noch, dafs die Bestandtheile der Säure selbst verschieden el. disponirt werden, und dadurch den Procefs erleichtern. Eine anscheinende Schwierigkeit liegt bei diesem Versuche in der Frage, warum bei stattfindender Zusammenlöthung die E. sich nicht in dem Metalle selbst wieder ins Gleichgewicht setzt; allein hierauf beruhet eben das Gesetz der galvanischen Elektricitäts-Erregung, dafs zwei sich berührende Körper verschieden el. disponirt werden, welches durch die Voraussetzung einer in beiden Metallen vorgehenden Ausgleichung wieder

[1]) Biot Précis élém. de Phys. I. p. 676.

aufgehoben würde. Fragt man aber nach der eigentlichen Ursache dieser Aufhebung des el. Gleichgewichtes, so ist diese bis jezt noch nicht genügend aufgefunden, mag aber immerhin auf einer gröfseren Verwandtschaft der einen oder anderen E. zu den verschiedenen Körpern beruhen Der beschriebene Apparat aber ist hiernach als eine Flasche zu betrachten, welche sich stets selbst wieder ladet, während sie unausgesetzt durch die Flüssigkeit entladen wird.

§. 174.

Wenn man zwei Elektromotore durch einen feuchten Leiter mit Beibehaltung der nämlichen Reihenfolge mit einander verbindet, so wird die elektrische Spannung doppelt so stark, bei dreien dreifach, bei n Elementen n fach so stark, als bei einem einzigen seyn. Volta, welcher diesen Satz aus seiner anfänglichen Theorie und den ersten Fundamental-Versuchen folgerte, kam dadurch zur Erfindung der nach ihm benannten Säule. Im Wesentlichen ist dieselbe stets gleich geblieben, in der äufsern Form aber mannigfaltig abgeändert, indefs bleibt für kleinere Versuche die stehende Säule, für sehr grofse der Trogapparat immer noch am meisten empfehlungswerth.

Die Richtigkeit und Allgemeinheit der angegebenen Verstärkung elektromotorischer Apparate ist jezt überall anerkannt. Sind zwei heterogene Metalle, als welche vorläufig die zwei weit von einander abstehenden Zink und Silber oder Kupfer seyn mögen, mit einander in Verbindung, so bilden sie ein Volta'sches Element, und mit einem feuchten Leiter eine *einfache Kette*, welche allezeit aus zwei Elektromotoren und einem unvollkommenen Leiter besteht, obgleich auch ein einziger, an seinen beiden Enden verschieden modificirter, Körper mit einer Flüssigkeit ein solches Element bilden kann. Als Beispiel möge hier nur Zamboni's zweielementige Säule erwähnt werden, welche aus Quadraten von Stanniol mit schmalen Enden bestand, wovon stets eine breite Seite des einen und der Schwanz des andern in ein Uhrglas mit reinem Wasser getaucht wurden, worauf 30 solche Uhrgläser eine wirksame Säule bildeten. Werden mehrere einfache Ketten mit einander verbunden, so

erhält man die *zusammengesetzte Volta'sche Säule,* welche den verstärkten Galvanismus giebt, und meistens schlechthin Volta'sche Säule genannt wird. Die Wirkungsweise der ersteren ist schon im vorigen §. angegeben, und aus ihr folgt die der lezteren von selbst. Ist nämlich die Silberseite des einen Paares oder eines Elementes in leitender Verbindung, so wird die Zinkseite die volle Elektricität zeigen, und diese durch die leitende Zwischensubstanz dem zweiten Paare mittheilen, so dafs dessen Zinkseite die doppelte Intensität erhält. Ist sie dagegen isolirt, so kann die ihr zugehörige Zinkplatte durch Bindung verhindert, die erzeugte E. nur halb mittheilen. Werden auf diese Weise n Plattenpaare mit abwechselnd zwischenliegenden Leitern geordnet, so entsteht ein Apparat, dessen beide Enden man des Gegensatzes wegen uneigentlich *Pole* genannt hat. Die Stärke desselben ist nach Volta, Bohnenberger [1]), Singer und den meisten Physikern der Zahl der Elemente direct proportional, Delezennes [2]) dagegen will gefunden haben, dafs sie im geraden Verhältnisse des Quadrates derselben zunehme. Wenn die Säule isolirt ist, so wird der Zinkpol + E., der Silber - oder Kupferpol — E. zeigen, die Mitte durch gegenseitige Bindung aber indifferent seyn. Die Stärke eines jeden Poles kann hiernach nur halb so grofs werden, als wenn der eine Pol in leitende Verbindung gesetzt wird. Beide Pole vereinigt giebt durch gegenseitige Herstellung des Gleichgewichts gleichfalls den Zustand der Indifferenz, wobei aber die Wirkung am stärksten auf diejenigen Substanzen ist, welche in den Kreis der beiden Pole gebracht, und also von der stets zum Gleichgewichte zurückkehrenden E. unausgesetzt durchströmt werden.

Es folgt aus allem diesen, dafs der von Volta erfundene elektromotorische Apparat im Allgemeinen aus zwei heterogenen Metallen gebildet wird, deren einzelne in möglichst naher, selbst durch Zusammenlöthen vermittelter, Verbindung stehende Paare als Elemente desselben durch feuchte Zwischenleiter verbunden sind. Das Wesentlichste dabei ist, dafs die Reihenfolge der Metalle stets dieselbe bleibt, indem der Fortgang der el. Wirksamkeit sogleich da aufhört, wo die Folge der Metalle umgekehrt wird. Nähme man eine Platte Zink oder Kupfer in der Mitte, und von hieraus nach beiden Seiten eine entgegengesetzte Reihen-

[1]) Gilb. Ann. LIII. p. 346.
[2]) Journ. de Phys. LXXXII. 269.

folge, so erhielte man eine symmetrische Säule, deren Wirkung durch beide verbundene Pole = o seyn muſs.

Man hat viele Vorschläge zum Aufbauen dieser el. Säulen gethan. Dahin gehört:

1) Die ursprüngliche stehende Säule. Sie wird auf einer Glasscheibe oder auf einem sonstigen Isolatorio zwischen massiven Glasstangen, oder bei groſsen Platten freistehend aufgebauet, und es ist vorzüglich nöthig, dafür zu sorgen, daſs die zwischenliegenden Scheiben festen Tuches die gehörige Nässe haben, ohne daſs die gewählte Feuchtigkeit durch Herablaufen eine leitende Verbindung bildet. Mehr als höchstens 100 Plattenpaare aufzuschichten ist selbst bei einem Durchmesser von nur 2 Zoll nicht räthlich, weil der Druck derselben zu stark wird. Besser ist es daher dann mehrere Säulen nebeneinander zu errichten, und je zwei mit entgegengesetzter Ordnung der Metalle durch eine gemeinschaftliche Metallplatte zu verbinden. Die Plattenpaare, Zink und Kupfer zusammen zu löthen ist räthlich wegen des schnelleren Aufbauens der Säule, des leichteren Reinigens derselben, und vielleicht wegen erhöheter Wirksamkeit [1].

2) Um den zu groſsen Druck und das dadurch bewirkte Herablaufen der Flüssigkeit zu verhindern schlugen Haldane und Parrot vor, die Säule horizontal zu legen. Allein bei etwas groſsen Apparaten hat man nicht leicht hinlänglich starke Glasröhren, und ohnehin werden diese leicht durch die herabsinkende Flüssigkeit benetzt, und somit mehr leitend, welches die Wirkung zwar nicht aufhebt, aber doch schwächt [2].

3) Theils die Apparate in beliebiger Gröſse zu construiren, theils um die gesammte Zahl der Plattenpaare in dem nämlichen Zeitmomente in Thätigkeit zu setzen, schlug Cruikshank vor, dieselben in Tröge zu schichten und die Flüssigkeit dazwischen zu gieſsen. Man kittet daher die zusammengelötheten Scheiben mit parallelen Flächen und kleinen Zwischenräumen wasserdicht in Tröge von Holz, Porzellan oder Biscuit ein, und füllt die Räume mit der Flüssigkeit an [3]. Der Kitt besteht nach Singer [4] am besten aus 6 ℔ Harz, 1 ℔ rothen Ocher, ½ ℔ Gyps und ¼ Quart Leinöl. Riesenmäſsige Apparate solcher Art sind

---

[1]) S. Gilb. Ann. X. 50. XI. 356.

[2]) S. Gilb. Ann. VII. 190. IX. 387. XII. 51.

[3]) S. Gilb. Ann. VII. 99.

[4]) S. Elektricitätslehre I. p. 203.

derjenige, welcher dem Royal Institution in London angehört, von 2000 vierzölligen Plattenpaaren [1]) und derjenige, welchen Bonaparte der polytechnischen Schule in Paris schenkte [2]).

4) Um die nachtheilige Oxydation der Platten und die beschwerliche Reinigung zu vermeiden, brachte Hauf den nach ihm benannten Cylinder-Apparat in Vorschlag. Die einzelnen Scheiben werden an hohle, gläserne Cylinder gelöthet, dann wird die Flüssigkeit durch eine Oeffnung in dieselben gegossen, und so das Ganze zusammengeschichtet. Obgleich dieser Apparat den beabsichtigten Zweck nicht erreicht und verhältnifsmäfsig zu viel Raum erfordert, so ist derselbe zur Erläuterung der Phänomene dennoch brauchbar [3]).

5) Diesem ähnlich ist Erdmann's Kapselapparat, welcher dem Fehler des schnellen Vertrocknen's der Flüssigkeit vorbeugen sollte. Er besteht aus Kapseln, welche aus den Platten selbst gebildet werden, indem sie durch einen von Pappe verfertigten, mit Oelfirnifs aufgeklebten Ring getrennt, die Flüssigkeit zwischen sich enthalten.

6) Volta's Becherapparat, welcher aus nebeneinandergesetzten, mit der erforderlichen Flüssigkeit gefüllten isolirten Bechern, in deren jeden ein verbundenes Paar Streifen von Zink und Silber oder Kupfer so gestellt ist, dafs die Extremitäten der heterogenen Metalle stets in einen Becher zu stehen kommen, gab die erste Veranlassung zur Erfindung des Trogapparates [5]). Er ist nur im Kleinen anwendbar.

7) Der grofsplattige Trogapparat, welchen Pepys erbauete [6]), desgleichen der von Children [7]), Wilkinsons trogartiger Becherapparat [8]), der Schüssel-Apparat und andere Einrichtungen mehr sind blofs im Einzelnen ausgeführt.

Alle diese Apparate sind zusammengesetzte, und beste-

---

1) S. Davy Elements p. 152. Vergl. Gilb. Ann. XII. 353.

2) S. Gilb. Ann. XXXII. 45. Biot Traité. II. 513.

3) Hauf de nova methodo naturam phaen. el., quae a Galvano nomen sortita sunt, investigandi. Marb. 1810. 4. Vergl. Gilb. Ann. XV. 77

4) S. Gilbert Ann. XII. 458.

5) Gilbert Ann. VI. 345. VIII. 391. IX. 18. X. 446.

6) S. Gilbert Ann. XV. 466.

7) S. Phil. Trans 1809. p. 32. Gilbert Ann. XXXVI. 364.

8) S. ebend. XXXVI. 359. Gehlen J. VII. 340.

hen aus mehreren gleichartigen, öfters wiederkehrenden einfachen; indefs sind die lezteren gleichfalls bis zu aufserordentlicher Gröfse gesteigert, und kommen sowohl im Kleinen als auch im Grofsen oft in Anwendung. Dahin gehören hauptsächlich:

8) Wollaston's Kastenapparat. Versuche zeigten nämlich, dafs im Conflicte von Kupfer und Zink zur Erzeugung der stärksten Wirkung eine gröfsere Fläche des ersteren als des lezteren Metalles erfordert werde. Man verfertigt daher flache kupferne Kasten von ungleich gröfserer Höhe und Breite, als Tiefe, giefst in dieselben die Flüssigkeit, und taucht in diese eine von den Wandungen des Kupfers überall nur wenig abstehende Zinkplatte. Als kleinsten Apparat dieser Art nahm Wollaston [1]) einen silbernen oder kupfernen Fingerhut ohne Boden, klopfte ihn platt, so dafs die Wandungen nur etwa eine Lin. von einander abstanden, gab diesem einen die schmalen Seiten verbindenden Bügel von dem nämlichen Metalle, befestigte zwischen die inneren Wandungen von allen abstehend vermittelst etwas Siegellack eine kleine Scheibe Zink, führte vom Bügel aus herabwärts und von Zink aufwärts, zwei einander parallel laufende, etwa 0,5 Lin. von einander abstehende, durch Siegellack getrennte Drähte und löthete zur Verbindung der hiernach überall getrennten beiden Metalle zwischen die beiden Drähte ein Endchen des feinsten Wollaston'schen Platindrahtes. Dieser Apparat wird in Salzsäure getaucht, und somit der Kreislauf der E. durch den feinen Draht und die Säure hergestellt. Von dieser geringen Gröfse aufwärts verfertigt man Kasten bis 3 Fufs Breite, eben so viel Höhe und etwa 3 Z. Tiefe, und gebraucht diese entweder einzeln oder mehrere verbunden. Im lezteren Falle können entweder alle, wie grofs deren Zahl seyn mag, zu einer einfachen Säule vereinigt werden, wenn man die sämmtlichen Zinkplatten durch einen an alle gelötheten Zinkstreifen und eben so die sämmtlichen Kasten durch einen Kupferstreifen vereinigt, wobei die hervorragenden Streifen die Endpole bilden; im ersteren Falle aber verbindet man das Kupfer jedes Kastens mit dem Zinke des nächst folgenden, wonach diese zwei Elektromotoren ein durch die Flüssigkeit in den Trögen getrenntes Volta'sches Element oder eine einfache Säule geben. Der lezte Kupfertrog bildet dann mit der in den ersten getauchten Zinkscheibe

[1]) Gilbert Ann. LIV. 1 ff.

die Endpole der Säule. Die erstere Construction ist an sich Fig. 209] klar, die leztere ergiebt sich aus der Zeichnung worin a; b; c; d . . . . die kupfernen Tröge, α; β; γ; δ . . . . die eingesenkten Zinktafeln und die punctirten Linien die beide verbindenden Drähte vorstellen. Grofse Apparate dieser Art erfordern eine auffallende Menge Flüssigkeit, geben aber mit starker Säure gefüllt unglaubliche Wirkungen. Um die Säure abzulassen mufs unten eine während des Gebrauchs verkorkte Röhre angebracht werden.

9) Pepys's [1]) gewundener elektromagnetischer Apparat besteht aus einer grofsen Kupferplatte und einer fast gleichen in einem Abstande von etwa 0,5 bis 0,75 Z. mit ihr parallel laufenden Zinkplatte, beide, die Zinkplatte inwendig, so um eine verticale Axe gewunden, dafs der horizontale Schnitt durch dieselben zwei einander parallele Spiralen bildet. Ein Apparat dieser Art im hiesigen Cabinette, welcher 65 par. Quadratfufs Kupfer enthält, hat eine hölzerne Axe, von welcher die Metalle durch Glasstreifen getrennt sind. Die gewundenen Metalle stehen zur Erhaltung ihres Parallelismus auf einer hölzernen mit 0,75 Z. dickem Pech überzogenen Scheibe, und die unteren Ränder der Metalle sind in das Pech eingedrückt, oben werden sie durch zwei eingekerbte Stäbe auseinander gehalten. An der Axe befindet sich ein kupferner Ring, vermittelst dessen sie in ein cylindrisches Gefäfs mit Säure an einem Flaschenzuge herabgesenkt werden. Oben sind die Metalle mit einer hölzernen Scheibe bedeckt, durch welche zwei an jedes der Metalle gelöthete Kupferstreifen hervorragen, welche aufserhalb umgebogen und mit Vertiefungen versehen sind, um etwas Quecksilber hineinzugiefsen, und einen Draht zum Schliefsen der Kette mit seinen beiden Enden hineinzutauchen. Die elektromagnetischen Wirkungen desselben sind ausgezeichnet stark, allein die erzeugte Hitze steht mit der Gröfse der Metallfläche nicht im Verhältnifs, und nimmt ab, wenn die Säure stärker ist, vielleicht weil diese dann für die Menge der erzeugten E. selbst zu leitend wird. Vermuthlich vermeidet man dieses, wenn man zwischen die beiden Tafeln Tuch legt, und sie dann aufrollt, denn kleinere Apparate dieser Art geben eine bedeutende Hitze.

10) Hare's *Calorimotor* ist hauptsächlich bestimmt, grofse Hitze durch den Strom der El. zu geben. Die Kupferplatten und Zinkplatten werden parallel neben einander

---

1) Phil. Trans. 1823. II. Ann. Chim. et Phys. XXV. 217.

etwa 0,5' bis 1 Z. unter sich abstehend lothrecht herabhängend an einem Rahmen befestigt, und die gleichartigen Metallplatten mit einander durch eine Metallstange verbunden, deren Enden dann die Pole der Säule geben, wenn das Ganze in einen mit Säure gefüllten Trog herabgelassen wird. Ein grosser Apparat, welchen ich diesem nachbilden liess, befriedigte meine Erwartung keineswegs, wovon ich die Ursache nicht aufzufinden vermogte; indess erwähne ich dieses, um vergeblichem Kostenaufwande vorzubeugen.

11) Hare[1]) verfertigte einen sogenannten *Deflagrator* aus 6 Z. breiten und 9 Z. langen Kupferscheiben und 6 Z. breiten 14 Z. langen Kupferplatten, welche zu Cylindern von 2,5 Z. Durchmesser spiralförmig so aufgewickelt waren, dass sie sich nirgend berührten, und das äusserste Kupfer das Zink ganz umschloss. Solche Rollen, 80 an der Zahl, wurden an Metallstäbe so gelöthet, dass das sämmtliche Kupfer für sich und das gesammte Zink gleichfalls für sich verbunden war, und dann in 80 runde, mit verdünnter Säure gefüllte Gläser gesenkt Die hierdurch erzeugte Hitze war so stark, dass ein Platindraht von 0,25 engl. Zoll Dicke, welcher die Enden der beiden Vereinigungsstäbe mit einander verband, augenblicklich schmolz, und mit den Spitzen sich berührende Kegel von Kohlen einen unerträglich glänzenden Lichtschein erzeugten. Nach einer andern Construction waren an 5 horizontalen Balken an jedem 50 oben und unten offene kupferne Kasten mit eben so vielen in ihnen ohne Berührung derselben herabhängenden Zinkblechen, jede 3 Z. breit und 7 Z. lang befestigt. Jeder Kupferkasten war vom nächstfolgenden durch einen mit Schellackfirniss getränkten Pappendeckel getrennt, und allezeit 50 mit dieser Zwischenlage zu einer einzigen Masse zusammengebunden. Unter diesen standen auf einem horizontalen Brette 5 Tröge mit Säure, welche vermittelst des Brettes gleichzeitig in die Höhe gehoben wurden, so dass alle 250 Kasten zusammen in die Säure tauchten. Auch dieser Apparat zeigte ganz unglaubliche Wirkungen.

12) Schweigger's Vorschlag, eine Säule aus gleichen Substanzen zu bauen, ist zwar keineswegs wegen der Stärke der Wirksamkeit, wohl aber als Beweis merkwürdig, dass eine verschiedene Modificirung gleicher Substanzen eine

---

[1] Americ. Journ. of Sciences and the Arts III. p. 105 und 345 Schweigg. Journ. XXVI. 321.

verschiedene galvanische Action erzeugt. Der Apparat besteht aus kupfernen Bechern, welche paarweise durch metallene Drähte, die einzelnen Paare untereinander aber durch feuchte Leiter verbunden sind. Werden die Becher dann mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, und wird einer von jedem Paare erhitzt, der andere aber kalt erhalten, so entsteht die galvanische Spannung [1].

§. 175.

Eine nothwendige Bedingung der Wirksamkeit der Volta'schen Säule ist die fortdauernde Erhaltung der Feuchtigkeit, nicht aber, wie man früher zu glauben geneigt war, die Anwesenheit der atmosphärischen oder einer andern sauerstoffhaltigen Luft. Uebrigens ist dieselbe verschieden nach der Art der leitenden Flüssigkeit, und wird außerdem durch die Gröſse und die Anzahl der aufgeschichteten Plattenpaare, so wie die zunehmende Oxydation derselben bedingt.

Daſs die Anwesenheit des feuchten Zwischenleiters zur Wirksamkeit der el. Säule unentbehrlich sey, folgt aus jeder Theorie derselben unmittelbar. Weit weniger, oder gar nicht nothwendig scheint die Anwesenheit des Sauerstoffgas zu seyn, obwohl einige Versuche ergeben, daſs eine Volta'sche Säule das umgebende Sauerstoffgas verzehrt, und bei gänzlichem Mangel desselben zu wirken aufhört [2]. Andere anscheinend genauere Versuche zeigen das Gegentheil, indem die Säule sogar im Guerickschen Vacuo ihre Wirksamkeit ungeschwächt beibehält [3]. Daſs die Säule isolirt seyn müsse, wenn sie ihre volle Wirksamkeit zeigen soll, versteht sich von selbst, inzwischen ist die Spannung der El. in ihr meistens so geringe, daſs auch unvollkommene Isolatoren, als Holz u. dgl. hinreichen. Bei den stehenden Säulen aus geschichteten Plattenpaaren ist es zur vollständigen Wirksamkeit gut, wenn die Flüssigkeit nicht an den Seiten herabläuft, da es aber die Wirkung ungemein schwächt, wenn die feuchten Zwischenlagen zu trocken sind, so ist es nicht räthlich, wegen etwaigen Herabflieſsens der Flüssig-

---

1) S. J. de ph. LXXIII. 405. Vergl. Davy's Versuche in Gilbert Ann. XI. 398.

2) S. Gilbert Ann. X. 161.

3) S. Biot Traité II. 528.

keit zu ängstlich zu seyn, und die Tuchplatten nicht gehörig zu befeuchten.

Die Art der Flüssigkeit, welche als Zwischenmittel dient, ist von grofsem Einflusse auf die Wirkung der Säule. Im Allgemeinen kann man annehmen, dafs die chemische Wirksamkeit der Säule so viel gröfser ist, je stärker das feuchte Zwischenmittel die Platten angreift. Weil aber durch den Einflufs der feuchten Leiter das oxydirte Zink zum Kupfer dringt, so hindert dieses Oxyd entweder die Leitung, oder das Kupfer kommt mit dem Zinke an beiden Seiten in Berührung, wodurch die Wirksamkeit aufgehoben werden mufs. Nach Biot [1]) wirken beide Ursachen vereint, nach Volta blofs die erstere, welches wahrscheinlich ist, weil die el. Spannung noch einige Zeit nach dem Aufhören der chemischen Wirksamkeit ungeschwächt fortdauert. Zamboni leitet diese Aufhebung der Wirkung von der Entstehung der Salze her, welche allmälig gebildet werden, und die nasse Säule der trocknen ähnlicher machen [2]). Verdünnte Säuren wirken daher auf kurze Zeit am heftigsten, alkalische Laugen minder heftig, Salze, vorzüglich Salmiak, geben mittlere Stärke und Dauer, reines Wasser giebt die geringste, aber am längsten dauernde Wirkung.

Die Ordnung der Säuren nach der Stärke der bei ihrer Anwendung erregten El. ist nach Davy [3]) von der stärksten anfangend folgende: Salpetersalzsäure, Salpetersäure, salpetrige Säure, Schwefelsäure, Phosphorsäure, vegetabilische Säuren, schwefliche Säure, Blausäure, Schwefelwasserstoffsäure. Andere haben indefs hiervon verschiedene Resultate erhalten, und überhaupt ist diese Frage hauptsächlich nur deswegen aufgeworfen, um zu entscheiden, ob der chemische Einflufs dieser Halbleiter die elektromotorische Wirkung der Metalle verstärke. Soll sie dagegen blofs in der Beziehung beantwortet werden, dafs man diejenigen Flüssigkeiten zu kennen wünscht, mittelst deren die Säulen sich am wirksamsten zeigen, so ist eine gesättigte Salmiaklösung den verdünnten Säuren gewifs gleich zu setzen, aber weit kostbarer. Am wohlfeilsten und hinlänglich wirksam ist Schwefelsäure mit etwa 60 Th. Wasser verdünnt, allein sie hat den Nachtheil, dafs das entwickelte zinkhaltige Wasserstoffgas den Lungen bei grofsen Säulen

---

1) S. Traité II. 530.
2) S. Gilb. Ann. LX. 155.
3) Phil. Trans. 1826 p. 383

sehr beschwerlich ist. Dieses wird ganz oder mindestens gröfstentheils vermieden, wenn man etwa zu gleichen Theilen dem Volumen nach gemischte Schwefelsäure und Salpetersäure anwendet. Für recht energische Wirkungen bedarf diese Mischung nur 20 bis 40 Th. Wasser zur Verdünnung. Uebrigens wird die Flüssigkeit durch einmalige Anwendung nicht unbrauchbar, sondern kann immerfort wiedergenommen werden.

Einen merkwürdigen Unterschied bietet die Säule dar, jenachdem bei gleicher Gröfse der Oberfläche der in Thätigkeit befindlichen Metalle die Menge der Schichtungen verschieden ist. Die Einwirkung auf die Nerven nämlich, die Stärke der chemischen Action und der Kraft des Verbrennens der Metalle ist der Gröfse der sich berührenden Metallflächen proportional, die Kraft des Abstofsens dagegen wächst mit der Anzahl der Lagen [1]. Children's Apparat aus 20 Paaren Platten, 4 F. lang, 2 F. breit, brachte daher keine Divergenz des Elektrometers hervor, schmolz aber 18 Z. Platindraht [2].

§. 176.

Die Wirkungen der Volta'schen Säule sind unter gewissen Modificationen denjenigen sehr ähnlich oder ihnen gleich, welche durch die gemeine Elektrisirmaschine hervorgebracht werden. Im Allgemeinen lassen sich dieselben auf den Nervenreitz zurückbringen, welchen sie auf lebende Wesen äufsert, auf das mechanische Bewegungsvermögen, und endlich auf die chemische Wirksamkeit, verbunden mit der Kraft des Verbrennens der Metalle. Hinsichtlich des ersteren bietet die Säule allerdings einen bemerklichen Unterschied dar, wenn man die Empfindung, welche durch diese in den Nerven hervorgebracht wird, mit dem Eindrucke durch den einfachen oder verstärkten Funken der Maschine vergleicht; rücksichtlich der beiden lezteren aber ist es auffallend, dafs sie eine eben so viel geringeringere Kraft der mechanischen Bewegung be-

[1]) S. Biot Traité II. 489.
[2]) S. Phil. Trans. 1809. p. 32.

sitzt, als ihre chemische Wirksamkeit überwiegend stark ist.

Dafs durchaus kein wesentlicher Unterschied zwischen der durch Reibung und der durch Berührung erregten, also der sogenannten gemeinen und der Galvanischen Elektricität vorhanden sey, geht aus den bisherigen Untersuchungen genügend hervor, auch ist schon oben §. 161 und 163 gezeigt, worauf die Verschiedenheit der Wirkungsäufserungen beider beruhet, wovon sich auf das Einzelne leicht eine Anwendung machen läfst. Die durch eine Volta'sche Säule erregte Empfindung gleicht weder dem einfachen el. Funken noch dem Flaschenschlage vollkommen, weil ihr in Vergleichung mit jenem durch gegenseitiges Gebundenseyn beider Elektricitäten die Spannung abgeht, mit diesem aber nicht die gesammte angehäufte Menge mit einemmale die in den Kreis gebrachten Organe durchströmt, vielmehr ein anhaltender Strom stattfindet, bei welchem die Menge der vorhandenen El. zwar aufserordentlich grofs, in jedem einzelnen, verschwindend kleinen Zeitmomente aber geringer ist, als beim Flaschenschlage. Im Allgemeinen liefse sich also die Eigenthümlichkeit der Wirkung auf die Nerven mit einem unzählbar oft wiederkehrenden Flaschenschlage aus einer grofsen, mit geringer Stärke geladenen, Batterie vergleichen, und sie ist im ersten Momente deswegen am stärksten, weil dann am meisten El. an den Polen der nicht geschlossenen Säule angehäuft ist. Im Einzelnen lassen sich folgende hieraus hervorgehende Unterschiede angeben:

1) Ein kleiner Flaschenschlag von geringer Spannung verursacht eine kaum merkliche, schnell vorübergehende Empfindung, in welcher selbst durch entblöfste Organe nichts Hervorstechendes unterschieden werden kann. Dagegen erregt ein einziges Plattenpaar, ohne überall bemerkbare Spannung, eine stärkere, durch einen säuerlichen Geschmack ausgezeichnete Empfindung auf der Zunge.

2) Ein etwas stärkerer Flaschenschlag ist stechend, und wenn er durch beide Arme geht, vorzüglich in den Gelenken und in der Brust wahrnehmbar, läfst dagegen eine Art Betäubung zurück. Entladet man dagegen die beiden Pole der Volta'schen Säule durch die benetzten Finger beider Hände, so ist die Empfindung brennend, krampfhafte Bewegungen erzeugend, und am stärksten an den berührenden Theilen, und gegen entblöfste Nerven ausnehmend schmerzhaft.

3) Selbst mittelmäfsige und fast kleine Flaschenschläge durchlaufen eine willkührlich lange Reihe von Personen mit geringer Verminderung der Intensität nach der Mitte hin. Dagegen drang die El. der beiden Pole des grofsen Volta-schen Apparates in Paris kaum durch eine Reihe von 4 bis 5 verbundenen Personen [1]).

4) Wenn man die Finger benetzt, und eine Flasche damit entladet, so wird die Wirkung dadurch schwächer, bei den Säulen aber ungleich stärker. Die Ursache hiervon liegt darin, dafs bei der Flasche der sonst mehr auf einen Punct concentrirte el. Strom sich weiter über die benetzte Stelle ausbreitet, bei der Volta'schen Säule aber die trockne Oberfläche für die geringe Spannung etwas isolirt.

5) Metallene Zwischenmittel ändern die Stärke der Flaschenschläge nicht, oder vermindern sie vielmehr, dagegen aber verstärken dicke Stücke Metall ihrer Gröfse proportional die Wirkung der Säule auf die Empfindung ungemein. Auch dieser Unterschied beruhet auf einem gleichen Grunde. Beim Flaschenschlage kann nämlich die einmal vorhandene Menge der El. durch das Metallstück nicht vermehrt, also die Wirkung derselben durch Ausbreitung über einen gröfseren Raum vermittelst des Metallstückes nur vermindert werden; bei der Säule dagegen, welche durch unablässige Strömung eine unbestimmbare Menge El. darbietet, gewährt das Metallstück theils eine bessere Leitung, theils eine gröfsere Menge Berührungspuncte, um sich mit einem reichlichern Strome zu ergiefsen. Auf gleiche Weise wird bei dem §. 163 beschriebenen Bügel aus Zink und Silber eine gröfsere Menge Gas entwickelt werden, wenn man ihn ganz in die Säure taucht, als wenn dieses nur mit einem Theile beider Metalle geschieht, obgleich die Gröfse der Elektromotore dadurch nicht vermehrt wird.

6) Obwohl ein einziges Element einer Volta'schen Säule schon eine merkliche Empfindung hervorbringt, so läfst sich doch die Wirkung der stärksten nicht so hoch steigern, dafs sie wie die stärksten Batteriefunken selbst für gröfsere Thiere tödtlich würde. Dagegen setzen mäfsige Säulen frisch getödtete Thiere in unglaublich starke krampfhaft zitternde Bewegungen [2]), wovon die Ursache gleichfalls in der ununterbrochenen Dauer der el. Strömung aus der Säule zu

---

[1]) S. Gilb. Ann. XXXII. 5. XXXVIII. 156.

[2]) S. Wilkinsons Elements II. 464.

suchen ist, im Gegensatze der momentanen Entladung der Flasche [1]).

Die Spannkraft der Volta'schen Säule ist im Verhältniſs zu ihrer chemischen Wirksamkeit äuſserst geringe. Selbst die stärksten bringen, bei leitender Verbindung des einen Poles, am andern Pole nur wenige Grade Divergenz des feinsten Elektrometers hervor, und in der Regel so viel weniger, je stärker nach der Beschaffenheit des leitenden Zwischenmittels die chemische Wirksamkeit ist, auch hört die leztere in diesem Falle weit schneller auf, als die erstere. So groſs nämlich auch die Quantität der jedem Körper im Zustande der Neutralität eigenthümlich zugehörigen El. seyn mag, welche bei der wechselseitigen Berührung beider Elektromotoren in die beiden entgegengesetzten Elektricitäten sich zu trennen bewogen wird, so bleiben doch allezeit beide neben einander und also sich wechselseitig bindend, weswegen auch die Säule in der Mitte = o el. ist und von hier nach beiden Polen hin zunehmend nach dem einen + el., nach dem andern — el. wird, an den Polen selbst aber die stärkste Spannung erhält. Hieraus werden dann auch die merkwürdigen Resultate der Harlemer und anderer Versuche erklärlich, daſs eine Säule die gröſste Batterie (v. Marum nahm 550 Quad. Fuſs Belegung) durch eine einzige Berührung gleich stark als jede kleinere ladet [2]). Eigentliche el. Funken, wie geriebene nichtleitende Körper, giebt die Säule vielleicht überall nicht, indem die bei der Verbindung der Pole erscheinenden Blitze eher für eine Folge des verbrennenden Metalles zu halten sind. Bei Childrens Apparate von 1250 Plattenpaaren erschien ein Funke erst bei der Näherung der Drähte bis zu $^1/_{50}$ Zoll [3]). Dagegen geben die trocknen Säulen von stärkerer Spannung allerdings Funken [4]).

Um so viel stärker sind die höchst interessanten chemischen Wirkungen der Säule, welche zuerst von Carlisle und Nicholson entdeckt wurden [5]). Als die vorzüglichsten derselben verdienen genannt zu werden:

1) Die Zerlegung des Wassers in seine beiden Bestandtheile, welche selbst durch kleine Säulen von 10 bis 20

[1]) Ueber den Einfluſs der Volt. Säule auf thierische Flüssigkeiten S. Brande in Phil. Trans. 1809. p. 385.

[2]) S. Gilbert Annalen X. 123. Vergl. XII. 257. LV. 206.

[3]) S. phil. trans. 1809. p. 36.

[4]) S. Zamboni in Gilbert Annalen LX. 183.

[5]) S. Nicholson's Journ. IV. 179.

Plattenpaaren 1,5 Z. im Durchmesser haltend bewerkstelligt werden kann. Wird Wasser in einer Glasröhre mit zwei bis auf einen, der Stärke der Säule proportionalen, Abstand genäherten Drähten in den Kreis der Säule gebracht, so entwickelt der elektrische Strom, wenn die Drähte aus oxydabelen Metallen bestehen, an dem — Pole Wasserstoffgas, während der andere, mit dem + Pole verbundene, oxydirt wird. Sind die Drähte aber von Gold oder Platin, so wird an beiden Gas frei u. z. am positiven Sauerstoffgas, am nagativen Wasserstoffgas. Wird das eine Ende einer mit Wasser gefüllten Röhre durch eine vorgebundene Thierblase verschlossen, in ein Gefäfs mit Wasser gestellt und der eine Draht in die Röhre, der andere in das Gefäfs gesenkt, so geht die Gasentwickelung dennoch vor sich. Ist der Apparat Fig. 210] so eingerichtet, dafs der Draht α des einen Poles und der Draht β des entgegengesetzten beide durch die für diesen Zweck hinlänglich isolirende Fassung m in den Becher A, unter die mit Wasser gefüllten Röhren a und b treten, so wird jede Gasart für sich frei, und die Leitung zwischen beiden Enden durch das Wasser des Becher's A hergestellt. Am interessantesten ist indefs der Versuch, wenn man das Wasser vermittelst zweier, durch Körke gesteckter Platindrähte, deren Enden in einer nur wenig gekrümmten Glasröhre sich im geringen Abstande von einander befinden, zerlegt, und wenn sich an den Enden der Drähte eine Gasblase gesammelt hat, so dafs diese aufser Berührung mit dem Wasser gekommen sind, sie einander nähert, und durch den alsdann entstandenen Funken das Knallgas entzündet. Hierbei sieht man deutlich die Zerlegung und Wiederzusammensetzung des Wassers. Nach Gay-Lüssac und Thenard ist die Qnantität der in gleichen Zeiten entwickelten beiden Gasarten das sicherste Mafs der Stärke einer Säule, und zwar nicht der Stärke der Spannung, sondern der Gröfse der Ladung, oder der Menge der erzeugten El. proportional [1]). Reines Wasser ist indefs schwer zersetzbar, und fordert eine zusammengesetzte Säule, weil es zu unvollkommen leitet, und daher den el. Strom der einfachen Säule nicht durchläfst. Setzt man etwas Salz oder Säure zu, so wird die Flüssigkeit leitender, und die Menge des erhaltenen Gases nimmt zu. Merkwürdig ist hierbei, dafs bei allen Scheidungen der verschiedensten zusammengesetzten Substanzen der Sauerstoff allezeit

[1]) S. Biot Traité II. 512

dem + Pole, der Wasserstoff dagegen dem — Pole zugeführt wird, wonach man also in Gemäſsheit des el. Gegensatzes ersteren für eine absolut negativ, lezteren dagegen für eine absolut positiv el. Substanz zu halten veranlaſst ist, obgleich auch gerade das Gegentheil gefolgert werden kann.

2) Scheidung der verschiedensten zusammengesetzten Körper, sowohl der organischen als unorganischen Natur, mit einer gröſseren Kraft, als irgend ein anderes Mittel darbietet. Diese wichtige Thatsache ist vorzüglich durch H. Davy aufgefunden und hat durch ihn zu vielfachen Entdeckungen geführt. Alle diese Scheidungen sind übrigens der des Wassers ähnlich, d. h. man muſs annehmen, daſs die Bestandtheile aller verbundener Körper irgend einen Platz in der elektrischen Reihenfolge einnehmen, mithin im Verhältniſs zu einander entweder dem + oder dem — Pole näher liegen, deren beide Enden der Wasserstoff und Sauerstoff bilden, und daſs sie dann durch die Wirksamkeit der freien E. sich an den ihrer eigenen E. entgegengesetzten Pol ziehen. Der Sauerstoff wird daher allezeit am + Pole abgeschieden, und eben so das Chlor, gegen welche daher alle andere Substanzen + el. sind. Das umgekehrte Verhalten findet beim Wasserstoffe statt. Im Allgemeinen wird am positiven Pole derjenige Körper frei, welcher die geringste Verwandtschaft zum Sauerstoffe oder dem Chlor hat, wodurch man allerdings zu der Vermuthung veranlaſst wird, daſs die hiernach vorhandene chemische Verwandtschaft, welche mit der elektrischen zusammenzufallen scheint, die gröſstmögliche Affinität zwischen den sich völlig neutralisirenden beiden Elektricitäten vorausgesetzt, von der elektrischen nicht verschieden sey, welches die Grundlage des *Elektrochemismus* ist. Die Zerlegung geschieht übrigens allezeit nur in zwei Theile, und zwar zunächst in die näheren, dann in die entfernteren Bestandtheile. Folgende sind die wesentlichsten Zerlegungen [1].

Zerlegte Körper.	Am + Pole.	Am — Pole.
Wasser . . .	Sauerstoffgas . .	Wasserstoffgas.
Wässerige Phosphorsäure . .	Sauerstoffgas . .	Phosphor.
Concentrirte Schwefelsäure	Sauerstoffgas . .	Flocken v. Schwefel
Wässer Hydriods.	Iod	Wasserstoffgas.

[1]) Aus L. Gmelin's Handbuch der theor. Chemie. 1827 Th. I. p. 181.

Zerlegte Körper.	Am + Pole.	Am — Pole.
Wässerige Salzs.	Chlor	Wasserstoffgas.
Salpetersäure . .	Sauerstoffgas . .	Stickgas.
Conc. wässeriges Ammoniak . .	Stickgas . . .	Wasserstoffgas.
Blausäure . . .	Cyan	Wasserstoffgas.
Salzsaures Ammoniak in Wasser	Sauerstoffgas und Chlor . . .	Wasserstoffgas und Ammoniak.
Kalihydrat, schwach befeuchtet . .	Sauerstoffgas . .	Wasserstoffgas und Kalium.
Feuchte Metalloxyde . . .	Sauerstoffgas . .	Wasserstoffgas und Metalle.
Schwefels. Kali in Wasser . . .	Sauerstoffgas und Schwefelsäure	Wasserstoffgas und Kali.
Salzs. Natron in Wasser . . .	Sauerstoff u. Chlor	Wasserstoffgas und Natron.
Schwefels. Zinkoxyd in Wasser	Sauerstoffgas und Schwefels. . .	Zink.
Salzs. Zinnoxydul	Sauerstoffgas und Chlor . . .	Zinn.
Salpeters. Bleioxyd in Wasser . .	Sauerstoffgas, Blei-Hyperoxyd und Salpeters. . .	Blei.
Schwefels. Kupferoxyd in Wasser	Sauerstoffgas und Schwefelsäure	Kupfer.
Schwere Metallsalze in Wasser	Sauerstoffgas und Säure . . .	Metall.

Die meisten dieser Zerlegungen sind mit höchst merkwürdigen Nebenbedingungen verbunden, welche im Allgemeinen zu der Hypothese führen, dafs beide Elektricitäten nach kräftigen Affinitätsgesetzen die ihnen zunächst verwandten Substanzen binden, sie dabei durch Ueberwindung ihrer Verwandtschaft zu denjenigen Substanzen, womit sie verbunden sind, von diesen trennen, und sie erst dann frei lassen, wenn sie selbst im vollkommenen Leiter jede in den Wirkungskreis der entgegengesetzten E. kommen. Es sey, Fig. 211] um dieses anschaulicher zu machen, A A′ eine zusammengesetzte Säule, deren Endpole durch die Drähte Z und K in die Flüssigkeit B getaucht sind. Vermöge der Wirksamkeit der Säule wird Z fortwährend durch den galvanischen Conflict der Metalle und feuchten Zwischenleiter mit einer unbestimmbaren Menge positiver E., K dagegen mit einer dieser proportionalen Quantität — E. geladen wer-

den, welche beide bei ihrer Strömung durch die Flüssigkeit die ihnen verwandten Stoffe aus ihrer Verbindung trennen, und im Zustande des an sie Gebundenseyn's durch die Flüssigkeit hindurchführen, bis sie selbst am entgegengesetzten Pole anlangend diese loslassen müssen, die mit ihnen in den vollkommenen metallischen Leiter einzudringen nicht vermögen. Es sey der zu zerlegende Körper Wasser, so wird im + el., von Z nach K gerichteten, Strome β, β' jede erforderliche Menge der positiven Elektricität ein Element Wasserstoffgas aus dem Wasser trennen und dem — Pole K zuführen, daselbst aber beim Eindringen in den Metalldraht wieder freilassen, und eben so geschieht das Nämliche in umgekehrter Richtung des — el. Stromes α, α' von K aus mit dem Sauerstoff [1].

Weil man im Innern der zerlegten Flüssigkeiten keine Gasblasen wahrnimmt, sondern bloſs an den Drähten, so schien es unbegreiflich, wo das an jedem Drahte gleichzeitig frei werdende andere Gas bleibe. Einige waren daher geneigt zu glauben, es finde an jedem Drahte nur die Freiwerdung des ihm zugehörigen Gases statt, im ganzen Zwischenraume zwischen beiden werde indeſs die Verbindung Fig. 212] erhalten, so daſs, wenn die Dreiecke in der Linie a und die Quadrate in der Linie α die einander nach den gleichen Zahlen zugehörigen Elemente Wasserstoff und Sauerstoff bezeichnen, bloſs das Element 1 am negativen und das Element 8 am positiven Pole frei würden, übrigens aber die Elemente des Wasserstoffes 2; 3; 4 . . . . n mit den Elementen Sauerstoff 1; 2; 3 . . . . n — 1 verbunden blieben. Diese Hypothese ist nicht bloſs unnöthig,

[1] Es scheint hiernach, als müsse man die bisher angenommene el. Reihe der Körper umkehren, und den Sauerstoff als erste positiv el. Substanz betrachten. Hieraus kann durchaus kein Argument gegen die gewählte Darstellung hergenommen werden; denn man nennt den Sauerstoff elektronegativ, weil er am + Pole zum Vorschein kommt. Um jedoch dahin zu gelangen muſs er nach unleugbaren Thatsachen vom — Pole hingeführt seyn, und ist dieses durch die el. Strömung geschehen, und bindet diese die entgegengesetzt el. Körper, so ist allerdings der Sauerstoff die elektropositivste Substanz; denn daſs in der zusammengesetzten Säule die — E. vom Kupferpole zum Zinkpole ströme, dieses unterliegt keinem Zweifel. Die gewöhnliche, und deswegen oben von mir beibehaltene Ansicht nimmt an, der + el. Zinkpol ziehe den — el. Sauerstoff an, allein genau genommen ist dieses nicht der Fall, vielmehr ist er in dem das Wasser durchströmenden el. Strome gebunden, und wird am Zinkpole frei.

sondern selbst der Natnr der Sache nicht angemessen, indem nach derselben die E. entweder die Flüssigkeit nicht durchströmen, sondern sich bloſs an den Enden der Drähte wirksam zeigen könnte (was unter andern dagegen streitet, daſs die Magnetnadel über einer beliebig langen, mit einer leitenden Flüssigkeit gefüllten, Röhre den ununterbrochenen el. Strom bestimmt angiebt), oder auf dieser ihrer ganzen Bahn gegen die Flüssigkeit indifferent seyn müſste, was eben so wenig zulässig ist [1]).

Die Zerlegung anderer Substanzen geschieht nach den nämlichen Gesetzen, als welche hier für das Wasser aufgestellt sind. Wenn man daher eine Salzsolution in zwei kleine Becher (von Platin) vertheilt, beide durch einen befeuchteten Streif Asbest verbindet, und den positiv polaren Draht der Säule in einen, den negativ polaren in den andern leitet, so findet sich zulezt im ersteren bloſs Säure im andern bloſs Basis. Eben dieses ist der Fall, wenn man den einen mit reinem Wasser, den andern mit der Lösung füllt.

Eine interessante, und für die elektrische Theorie höchst wichtige Thatsache ist durch de la Rive [2]) vermittelst einer groſsen Reihe übereinstimmender Versuche aufgefunden, welche im Wesentlichen auf Folgendes hinausläuft. Wenn der Strom einer etwas stärkeren Volta'schen Säule längere Zeit durch einen Leiter erster Classe, also einen Metalldraht, gegangen ist, so erhält dieser dadurch die Disposition, die Elektricität vorzugsweise in dieser Richtung zu leiten. Hat daher eine Glasröhre mit Wasser gefüllt, in welches zwei Platindrähte reichen, eine Zeitlang zur Wasserzersetzung in der Art gedient, daſs die Pole bei derselben nicht verwechselt wurden, und wird sie von der Säule getrennt, so hört die Wasserzersetzung nicht im ersten Momente der Trennung auf. Wird der nämliche Apparat aber, nachdem die Zersetzung völlig aufgehört hat, wieder mit den Polen der Säure in der früheren Ordnung verbunden, so beginnt die Zersetzung augenblicklich, geschieht dieses aber in der entgegengesetzten, so vergeht eine meſsbare Zeit, bis man die Gasentwickelung wahrnimmt. Diese Disposition erhalten die Leiter erster Classe indeſs nur dann, wenn ein flüssiger Leiter einen Theil der Säule bildet, ohne daſs jedoch lezterem die nämliche Ei-

---

[1]) Die hier mitgetheilte Vorstellungsart hat de la Rive mit triftigen Gründen unterstützt. S Ann. Chim. et Phys. XXVIII. p. 190.

[2]) Biblioth. univ. XXXV. p. 92.

genschaft mitgetheilt wird. De la Rive führt diese und die zur Leitung gehörigen Erscheinungen darauf zurück, dafs die o El. jedes einzelnen Molecüls der Körper in die beiden Elektricitäten zerlegt wird. Aehnliche interessante Erscheinungen sind früher von Berzelius und Hisinger, neuerdings aber von Pfaff beobachtet [1]).

Wenn man von drei kleinen Bechern den einen äufsern mit Salzsolution füllt und den — el. Draht hineinsenkt, den andern äufsern mit Lackmustinctur und den + el. Draht hinein taucht, den mittleren aber mit verdünnter Silbersolution füllt und mit den beiden äufseren durch angefeuchteten Asbest verbindet, so wird eine hinlänglich starke Säule die Säure durch die Silbersolution, ohne Niederschlag zu verursachen, zum + Ende führen, und dort durch das Reagens kenntlich machen [2]). Ferner ist die el. Säule zuerst von Davy als Mittel angewandt, die metallischen Grundlagen der Alkalien kennen zu lernen [3]). Am leichtesten ist das Kalium darstellbar, wenn man ein mäfsig feuchtes Stück kaustisches Kali auf eine Glasscheibe legt, und auf demselben die beiden Silber- Gold- oder Platin-Drähte einander bis auf eine Linie nähert, worauf das Kalium am — Drahte in kleinen Kügelchen gebildet wird. Singer legt ein solches Stück in einen silbernen Löffel oder auf eine silberne Platte am — Pole, und bringt den Draht des + Poles damit in Verbindung, um die Kügelchen entweder oben oder unter dem Stücke zu erhalten [4]). Als Amalgama erhält man es leicht, wenn man in eine Vertiefung eines Stückes mäfsig angefeuchteten Kali's ein Quecksilberkügelchen legt, den + Pol mit dem Kali den — Pol mit dem Quecksilber verbindet. Auf ähnliche Weise haben Davy, Pontin und Berzelius auch die Zerlegung der sogenannten alkalischen Erden und der Talkerde bewerkstelligt, indem sie dieselben als feuchte Paste oder mit Quecksilber in den Kreis mächtiger Säulen brachten. Bei der Einwirkung von Säulen, welche über 100 Doppeltplatten, mehr als 5 Z. ins Gevierte grofs, enthielten, wollte es mir selten glücken, die weifsen, metallisch glänzenden Kügelchen abgesondert zu erhalten, dagegen fand ein fast anhaltendes Verglühen des Kali's mit starkem Funkensprühen statt. Verbindet man zwei Röhren

---

[1]) S. Schweigg. Journ. LIII. p. 77.
[2]) S. Davy in Gilb. Ann. XXVIII. 1 ff. XXXI. 113.
[3]) S. Phil. Trans. 1808. 1 Gilb. Ann. XXVII. 117.
[4]) S. Gilb. Ann. XLIV. 239.

mit Asbest, giebt in die eine Silbersulution, in die andere Wasser, und bringt sie in den Kreis der Säule, das Wasser an den — Pol, so überzieht sich der Asbest mit regulinischem Silber. Gleichfalls wird Silber aus der salpetersauren Solution desselben durch Silber-Gold- oder Platindrähte dendritisch reducirt. Noch ungleich schönere Dendriten giebt salzsaure, mit Wasser stark verdünnte Zinnsolution an dem negativen Drahte in einer gemeinen Glasröhre. Wenn man eine längere Glasröhre durch verschiedene Körke trennt, deren jeder von einem kurzen Stücke Platindraht in der Axe der Röhre durchstochen ist, so findet Zersetzung des Wassers oder der sonstigen Substanzen an beiden Enden statt, und zwar so, dafs jedes, einem andern gegenüberstehende, Drahtende diesem entgegengesetzt ist. Ein gleiches Verhalten zeigt sich, wenn die Flüssigkeit in der Röhre durch Metallbleche getrennt ist.

Hierbei sind zugleich Erscheinungen beobachtet, welche die oben aufgestellte Erklärung ausnehmend zu bestätigen dienen. Werden nämlich zwei Räume, in denen sich mit Wasser stark verdünnte salpetersaure Silberauflösung befindet, durch ein Glas mit einem feinen Risse geschieden z.B. wenn man eine engere, unten verschlossene, Glasröhre mit einem feinen Risse in eine andere weitere stellt, beide mit der genannten Flüssigkeit füllt und die Drähte beider Pole hineinleitet, so durchdringt die Elektricität für sich und ohne die aufgenommenen Substanzen den feinen Rifs, jedoch langsam. Es wird nämlich am Drahte des positiven Poles Sauerstoffgas entwickelt und an der ihm gegenüberstehenden Seite des feinen Risses Silber abgesetzt, an der dem negativen Pole entgegenstehenden Seite dagegen wird Sauerstoffgas frei und am negativen Polardrahte Silber reducirt. Der Rifs wirkt also wie ein in eine Röhre geschobener Kork mit einem durchgesteckten Drahtende, oder er für sich wie ein vollkommener Leiter [1]).

Aufser diesen grofsen und auffallenden Zersetzungen zeigen sich noch eine Menge anderer im Kleinen. Dahin gehören hauptsächlich die Reductionen der Metallsalze durch Metalle, welche zu der Säure eine geringere Verwandtschaft haben, aber deswegen die Metalle aus den Auflösungen aufnehmen, weil sie in Berührung mit einem andern Metalle negativ el. werden. Giefst man z. B. auf eine Glasscheibe etwas Salpetersaure Silbersolution mit 24 Th. Was-

[1]) Grotthufs in Schweigg. J. XXVIII. p. 215.

ser verdünnt, und berührt dieselbe am einen Ende mit Zinn- oder Kupferdraht, am andern mit Silber- Gold- oder Platindraht, so wird an den lezteren Silber reducirt, sobald ihre oberen freien Enden jene berühren. Bringt man auf eine blanke Silbermünze einen Tropfen Kupfervitriollösung, und berührt diesen mit dem Barte eines eisernen Schlüssels, so wird dieser mit Kupfer überzogen und das Silber bleibt frei; berührt man dagegen gleichzeitig mit dem Stiele des Schlüssels den Rand der Silbermünze, so fällt Kupfer auf dieser nieder. Auch die gewöhnlichen Metallvegetationen §. 76 entstehen durch Mitwirkung des Galvanismus, indem die zuerst chemisch reducirten Metalle mit den reducirenden und der Flüssigkeit eine einfache Volta'sche Kette bilden, ohne deren Vorhandenseyn die Reductionen nicht regulinisch seyn könnten.

Hierhin gehört auch die merkwürdige Anwendung der galvanischen Elektricitätserregung auf die Sicherung des Kupferbeschlages der Schiffe gegen Zerstörung durch das Seewasser, welche Davy[1]) vorgeschlagen und durch Versuche im Grofsen bestätigt gefunden hat. Indem nämlich jedes Metall in Berührung mit einem andern elektropositiveren elektronegativ wird, so darf man nur das Kupfer mit Eisen oder Zink in Verbindung bringen, um es negativ, hierdurch also zur Aufnahme des Sauerstoffes unfähig zu machen, und also gegen die Zerstörung durch das Seewasser zu schützen. Aus den Versuchen ergab sich, dafs $^1/_{40}$ bis $^1/_{100}$ Zink oder Eisen das Kupfer völlig sicherte, bei *Protectoren* von $^1/_{200}$ der Kupfermenge fand aber nur ein vermindertes Zerfressen statt, aber selbst 0,001 Eisen schützte noch etwas. Die Sache selbst steht im nahen Zusammenhange mit vielen anderen aus dem nämlichen Gesetze folgenden. Dahin gehört die Regel bei Dächern und bei allen Gefäfsen von Zink, welche mit Wasser in Berührung kommen, keine eiserne, noch weniger aber kupferne Nägel anzuwenden, weil sonst durch den galvanischen Conflict beider Metalle das Zink zur Oxydation und daraus folgender Auflösung disponirt wird [2]).

Die oben erwähnten Zerlegungen, vorzüglich der Salzsolutionen sind meistens mit beträchtlicher Hitze und oft mit

---

[1]) Phil. Trans. 1824. p. 250. 1825. II. p. 825.

[2]) Vergl. die vielen Erfahrungen über die zerlegende und vereinigende Kraft der galvanischen Elektricität in Müllers Anmerk. zu Singer p. 416 ff.

einem Knistern verbunden, beide so viel stärker, je heftiger der Apparat wirkt.

Am stärksten zeigt sich die Säule und die Kraft der gemeinen E. bei weitem übertreffend durch ihr Vermögen verbrennliche Körper zu entzünden und zu verbrennen. Eine hinlänglich starke, obwohl keine bedeutende el. Spannung zeigende Säule verbrennt leicht unächtes Blattgold und Silber, dünnen Stanniol, Zink, feinen Eisendraht u. a., alle mit verschiedenfarbigem Lichte, entzündet fein geriebenes Schiefspulver, Weingeist und Naphtha, wenn man diese Substanzen durch Blattgold in den Kreis derselben bringt, Phosphor, Schwefel und Zündschwamm, lezteren ohne Zweifel durch das Glühen der Metalle, stärkere aber entzünden zwei zugespitzte Kohlenstifte selbst unter Wasser und verbrennen Platindraht von beträchtlicher Stärke und Länge. Hierhin gehört im Kleinen Wollastons Apparat, welcher als einfache Volta'sche Säule den höchstfeinen Platindraht zwischen den beiden Metalldrähten zum Glühen bringt. Wilkinson wollte dieser Eigenschaft wegen die Stärke der verschiedenen Säulen nach der Dicke und Länge verbrannter Eisendrähte bestimmen. Interessante Versuche sind, wenn man zwei feine Spitzen Eisendraht einander nähert und zusammenschmelzen läfst; wenn man einen flachen Eisendraht oder unächtes Blattgold der Quecksilberfläche in einer Röhre, welche einen bis in das Quecksilber reichenden, mit dem andern Pole der Säule verbundenen Eisendraht enthält, nähert, wobei ersteres mit einer grünen, lezteres mit einer rothen Flamme verbrennt [1]. Werden zwei zugespitzte Kohlenstifte auf die Enden der von beiden Polen ausgehenden Drähte gesteckt, und bei sehr grofsen Deflagratoren einander genähert, so entzündet sich zwischen ihnen ein feuriger Strom, welcher auch im Vacuo mit unerträglicher Lichtstärke fortdauert, ohne die glühend gewordenen Kohlen zu verbrennen, und sich bis auf etliche Zolle durch allmäliges Entfernen der Kohlenspitzen von einander verlängern läfst. Becquerel [2] giebt an, dafs ein Stück glühende Kohle, im Quecksilbergefäfse des einen Poles ausgelöscht, sich auch bei kleinen Apparaten leicht durch die Berührung mit dem Platindrahte des andern Poles entzündet.

Diese Hitze kommt indefs, auch bei der Volta'schen

---

[1]) Vergl. Gay-Lüssac u. Thenard in Gilb. Ann. XXXVIII. 121.

[2]) Ferrussac Bulletin des Sc. math. et Phys. I. p. 59.

Säule, nur dann zum Vorschein, wenn die erzeugte Menge der El. so grofs ist, dafs der beide Pole verbindende Leiter sie vollständig und mit Leichtigkeit fortzuführen nicht Masse genug hat, indem sonst gar keine Wärme erzeugt wird. Dabei mufs die El. hinlängliche Spannung haben, um den Leiter in gehöriger Menge zu durchströmen. In dieser lezteren Bedingung scheint mir der Grund zu liegen, weswegen der oben §. 174 Nro. 9 angegebene gewundene Apparat von Pepys die erwarteten Phänomene des Glühens nicht zeigt, denn ich habe beobachtet, dafs ein Platindraht von etwa 0,2 Lin. Dicke nicht glühend wurde, ein Messingdraht von 1,5 Lin. Dicke dagegen so heifs, dafs man ihn mit den Fingern nicht halten konnte. Ob alle E. von dem einen Pole zum andern geleitet werde, hängt theils von der Dicke, theilts von der Leitungsfähigkeit des verbindenden Drahtes ab, und so ist es dann der Fall, dafs bei starken Apparaten zwei Verbindungsdrähte glühend werden, wenn für beide eine hinlängliche Menge E. vorhanden ist [1].

Die Herstellung des el. Gleichgewichts zwischen den beiden Polen der Volt. Säule geschieht wie bei der Flasche in unmefsbar kurzer Zeit, worauf Sömmerring den Vorschlag zu seinem el. Telegraphen gegründet hat [2].

§. 177.

Die Theorie der Volta'schen Säule und ihrer Wirksamkeit ist noch keineswegs völlig ausgemacht. Volta, der Erfinder derselben, hält die Metalle in ihrer Verbindung für die Erreger der Elektricität, das feuchte Zwischenmittel aber für die fortleitende Substanz, deren Wirksamkeit ihrem Leitungsvermögen proportional seyn soll. Andere wollten die gesammte Wirkung blofs aus der Oxydation der Metalle ableiten, eine Ansicht, welche in den sogenannten trocknen Säulen zwar keinen völlig entscheidenden, aber doch nicht unerheblichen Gegengrund findet. Noch andere, an deren Spitze Davy zu stellen ist, halten die Metalle allerdings für Erreger

[1]) Biot Précis élem. I. p. 636.

[2]) S. Münchener Denkschr. Bd. III. Vergl. Schweigg. Journ. II. 217. Gilb. Ann. XXXIX. 178.

der Elektricität, jedoch in der Art, dafs das natürliche Vermögen derselben, vorzüglich für die chemischen Wirkungen, durch den Einflufs der Säuerung erhöhet wird.

Da die Erscheinungen der Volta'schen Säule sehr mannigfaltig, und, wie die elektrischen überhaupt, schwer zum Systeme zu ordnen sind, so war zu erwarten, dafs die Wirkungsart derselben zu verschiedenen oder verschieden modificirten Theorieen führen mufste. Zur allgemeinen Uebersicht scheint es mir indefs genügend, hauptsächlich nur die Frage zu untersuchen, ob die Wirkungsart derselben rein elektrisch oder durch Chemismus bedingt ist.

Nach Volta giebt es nur einerlei El., welche sich durch Ueberflufs oder Mangel als + und — El. zeigt. Durch die Berührung der elektromotorischen Metalle wird die El. ungleich unter ihnen vertheilt, so dafs Zink den Ueberflufs über das natürliche Gleichgewicht, Kupfer dagegen einen Mangel erhält. Steht eine von beiden Platten in leitender Verbindung, so wird der Ueberflufs oder Mangel hierdurch ersetzt, und die andere erhält daher die volle Spannung. Eine dieser gleiche el. Spannung findet zwischen jedem Plattenpaare der Säule statt. Indem aber die El. des ersten Paares dem folgenden durch das leitende Zwischenmittel zugeführt wird, so mufs die Spannung desselben hierdurch eine Vermehrung erhalten, und da dieses bei jedem folgenden der Fall ist, so mufs die Stärke der el. Spannung vom unteren — oder Silberpole zum obersten + oder Zinkpole für jedes Element der Säule im einfachen Verhältnisse der Zahl der Plattenpaare zunehmen, die Menge der vorhandenen El. aber, oder die Ladung, der Oberfläche der vereinten Metalle proportional vermehrt werden [1]). Dabei wird indefs vorausgesetzt, dafs die El. ungehindert in ganzer Stärke und Menge vom einen Pole der Säule zum andern

---

[1]) Wird die El. als eine den Metallen inhärirende und durch sie verbreitete, sie gleichsam tränkende Flüssigkeit betrachtet, so müfste die Quantität der frei werdenden der Masse der Metalle proportional seyn; den Erfahrungen nach steht sie indefs im Verhältnifs der Oberfläche. Dabei ist allerdings ausgemacht, dafs eigentlich nur die Oberflächen mit einander in Conflict kommen, indefs würde es doch immer einige Schwierigkeit haben, den Einflufs der Masse geradezu auszuschliefsen, insbesondere wenn man berücksichtigt, dafs grofse Massen in ausgedehnte Bleche verwandelt werden können, wodurch zugleich die Menge ihrer El. vermehrt werden müfste. Auch diese Schwierigkeit zeigt sich somit als noch nicht ganz beseitigt.

gelangen kann, wozu auf allen Fall eine dem Leitungsvermögen des flüssigen Leiters umgekehrt proportionale Zeit erfordert wird. Hiernach ist also das feuchte Zwischenmittel blofs als leitende Substanz zu betrachten, welche nach der Stärke ihres Leitungsvermögens vom geringsten, dem reinen Wasser (die sehr schlechten Leiter, als Weingeist, Aether und dergleichen nicht mitgerechnet), bis zum stärksten, den Säuren, kräftiger wirkt, in sofern die in jedem einzelnen Elemente erregte El. dem folgenden schneller zuströmt. Weil aber die Flüssigkeiten zugleich mit Metalloxyd gesättigt, und die Platten damit überzogen werden, so wird hierdurch die Fortleitung aufgehoben, und die Wirkung so viel geringer werden, mithin so viel kürzer dauern, je mehr und je schneller dieses geschieht [1].

Die gesammte Wirkung der Säule aus dem Oxydationsprocesse abzuleiten nach Fabbroni und andern [2] findet aufser den trocknen Säulen noch in folgendem Versuche einen Gegengrund. Wenn man auf den Deckel eines empfindlichen Elektrometers eine Kupferplatte unmittelbar oder durch einen feuchten Zwischenleiter getrennt legt, und eine Zinkplatte darauf, auf diese leztere Salzsäure giefst, und sie in leitende Verbindung setzt, so wird sich überhaupt keine oder keine vermehrte Divergenz zeigen. Aufserdem wird die Divergenz der elektroskopischen Substanzen durch verstärkte Oxydation der Platten nicht vermehrt, und dauert oft in wachsender Stärke noch geraume Zeit fort, wenn die Oxydation der Platten durch Ueberzug mit Oxyd fast ganz aufgehört hat [3]. Aehnliche, dieser Hypothese nicht günstige oder sogar gegen sie entscheidende Versuche hat Berzelius angestellt [4], obgleich derselbe früher Anhänger der Meinung war, die Wirkung der Volta'schen Säule beruhe ausschliefslich auf der Oxydation der Metalle [5]. Auch die Hervorbringung der gemeinen El. ist nicht, wie manche Physiker, namentlich Wollaston, früher zu glauben geneigt waren, von der Oxydation des Amalgama abhängig, indem nach Davy's Versuchen die Erzeugung

---

[1]) S. Volta's neueste Versuche üb. den Galvanismus u. s. w. Wien 1803. Vergl. Biot Traité II. 537. Gilb. Ann. XVIII. 129. Zamboni in Gilb. Ann. LX. 180.

[2]) S. Davy in Gilbert Ann. XXVIII. 183.

[3]) S. Zamboni in Gilb. Ann. LX. 159.

[4]) S. Nicholson J. XXXIV. 161.

[5]) S. Gilb. Ann. XXVIII. 203.

derselben in kohlensaurem Gase noch stärker ist, als in atmosphärischer Luft, und in Wasserstoffgas nicht aufhört[1].

Nach Davy sind die heterogenen Metalle allerdings das eigentliche el. Agens, indem das Zink mehr Anziehung zur + El., Kupfer dagegen zur — El. hat. Kommen beide mit einander in Berührung, so werden durch gegenseitige Einwirkung diese ihre Dispositionen erhöhet, mithin wird das Kupfer mehr — el., das Zink mehr + el. werden. Kommen sie in Verbindung mit einem feuchten Zwischenleiter, so wird ihre geringe Spannung für diesen, welcher in eben dieser Beziehung als nichtleitend anzusehen ist, vertheilend wirken, und daher die Spannung in jedem folgenden Paare erhöhet werden. Um dieses zu erläutern, mögen die
Fig. 213] 7 Plattenpaare zk ; zk ; zk ...., jedes vom folgenden durch einen feuchten Zwischenleiter w ; w ; w..... getrennt, eine Volta'sche Säule vorstellen, deren positiver und negativer Endpol dadurch zugleich gegeben ist. Die mit beiden heterogenen Metallen in Berührung stehende Flüssigkeit w trennt sich rücksichtlich ihrer el. Disposition in zwei Hälften, deren jede diejenige El. annimmt, welche der des sie berührenden Metalles entgegengesetzt ist. Die el. Spannung der + Hälfte von w, weclhe das Plattenpaar 1 berührt, ist sonach der el. Spannung des k direct proportional, und daher die — el. Spannung der anderen Hälfte, welche das + el. z des Paares 2 berührt, ihr genau gleich, wodurch die ursprünglich erregte + El. desselben um eben so viel gesteigert wird, und indem eine gleiche Wirkung bei jedem folgenden Metallpaare stattfindet, so mufs die Spannung an den Polen der Zahl der Plattenpaare direct proportional seyn.

Sehr entscheidend für diese Ansicht sind Erman's Versuche über die Art der Fortleitung der El. durch Wasser[2]. Die ursprüngliche Anziehung des Zinkes zum — el. Sauerstoff wird dann durch die erregte El. noch erhöhet, und eben so des Kupfers zum + el. Wasserstoff, wonach eine Zerlegung des Zwischenleiters vor sich gehen, und der Sauerstoff dem Zinkpole, der Wasserstoff dagegen dem Kupferpole zugeführt werden mufs, und indem die Säule im Ganzen einen Kreis bildet, so wird eben derjenige Zerlegungsprocefs, welcher in ihrem Innern vorgeht, auch

---

1) S. Elemente des chemischen Theils der Naturwiss., übers. von Wolf. Berl. 1814. p. 113.

2) S. Gilb. Ann. X. 11.

alle diejenigen Substanzen treffen, welche in den Kreis derselben gebracht werden. Eben dasjenige übrigens, was hiernach vom Sauerstoff und Wasserstoff gilt, wird auch für Säuren und Alkalien, für verhältnifsmäfsig mehr sauerstoffhaltige und wasserstoffhaltige und überhaupt für alle el. entgegengesetzte Körper gelten. Die Dauer der Wirksamkeit einer Säule wird bedingt durch die Sättigung der verschiedenen Metalle, des Zinkes mit Oxyd, des Kupfers mit Wasserstoff, und mufs daher beim Wasser am längsten seyn, weil die beiden Bestandtheile desselben als Gasarten entweichen; zugleich aber wird der el. Gegensatz der Metalle und ihre Wirksamkeit eben durch die Zerlegung der feuchten Zwischenmittel aufs Neue aufgeregt, und mufs daher durch diejenige Veränderung noch erhöhet werden, welche die Säuren oder Salze in ihnen hervorbringen.

Aus dieser seiner Theorie erklärt Davy sehr consequent die zum Theil durch ihn selbst aufgefundenen oder erweiterten Erscheinungen der Wirksamkeit einer el. Säule. Durch die ursprüngliche Anziehung des + Poles derselben oder vielmehr der hieran frei werdenden + El. zum — el. Sauerstoff oder den sauerstoffhaltigen Körpern wird dieser Pol in den zwischenliegenden mehr oder minder leitenden Körpern diese verwandten Substanzen mit überwiegender Kraft anziehen, und selbst durch die feinsten Reagentien durchführen. Eben so wird die am — Pole frei werdende — El. durch überwiegende Anziehung die verwandten + el. Bestandtheile der Körper binden, selbst auf weitere Entfernungen fortführen, und nicht eher frei lassen, als bis sie sich mit der entgegengesetzten El. des + Poles neutralisirt hat [1]).

Es ist augenfällig, dafs aus dieser Hypothese die Wirksamkeit der Säule rücksichtlich der erhöheten Spannung sehr gut erklärt werden könne, auch geht aus zahlreichen Versuchen, namentlich von Zamboni, Marianini, de la Rive, Becquerel, Pfaff, Grotthufs und vielen anderen unleugbar hervor, dafs auch die Flüssigkeiten in Berührung mit festen Körpern galvanisch erregt werden, und so mufs also auch durch diese in der Volta'schen Säule ein elektrischer Procefs entstehen, welcher dem durch die sich berührenden Metalle bedingten ähnlich ist; die einzige Frage

[1]) S. Davy's interessante Abhandlungen, übers. von Gilbert, in dessen Ann. XXVIII. 1. u. 161 ff. vorzüglich 183.

ist daher nur die, ob beide einander unterstützen und erhöhen.

Da es zu weit führen würde, alle diejenigen Gründe, welche für und wider diese Meinung angeführt sind, nebst den zahlreichen Versuchen, worauf sie sich stützen, hier zu erzählen, so verweise ich deswegen auf die vollständige und gründliche Prüfung der verschiedenen Theorieen der Volta'schen Säule, welche Pfaff [1]) kürzlich gegeben hat. Hierin ist ausführlich gezeigt, daſs Volta's Theorie aller Einwendungen ungeachtet mit Consequenz auf alle bekannte Phänomene angewandt werden kann. Der Oxydationstheorie steht das Argument entgegen, daſs kein entscheidender Versuch bekannt ist, wonach die Oxydation eines Metalles an sich galvanische Elektricität erregt, obgleich ein oxydirtes Metall in der galvanischen Reihe der Körper einen andern Platz einnimmt, als ein nicht oxydirtes, und es daher im Conflicte mit einem andern El. erregen kann, mit welchem dieses vorher nicht der Fall war, so wie gleichfalls durch Berührung eines Metalles mit einer Säure nach Becquerel [2]) und andern eine gleiche Wirkung statt findet. Die Hypothese Davy's findet also hierdurch eine bedeutende Unterstützung; allein die aus den Thatsachen nothwendig folgende Fortführung der verschiedenen Stoffe deutet sehr entscheidend auf einen wirklichen Strom der El., wie oben bei der Erklärung der chemischen Zersetzungen nachgewiesen ist. Muſs aber dieser einmal nach Volta angenommen werden, und sind hiernach die feuchten Zwischenmittel auf allen Fall als Leiter zu betrachten, so steht seine Theorie in der Hauptsache fest, und will man demnächst noch ferner annehmen, daſs die durch die Berührung der Metalle erregte El. durch diejenige vermehrt werde, welche vermöge der Berührung derselben mit dem flüssigen Leiter frei wird, so könnte dieser Zuwachs auf allen Fall nur geringe seyn: dieses folgt schon nothwendig aus dem Standpuncte, welchen die Flüssigkeit zwischen den beiden weit abstehenden Metallen einnehmen muſs, wonach sie sich dem einen immer mehr nähert, wenn sie sich von dem andern weiter entfernt, und also die el. Spannung jeder Flüssigkeit, mithin auch die durch sie erzeugte Erhöhung der Wirkung gleich seyn müſste, was wiederum gegen diese Hypothese entscheidet. Daſs übrigens die Theorie Volta's sehr leicht auf den Dualismus in der

[1]) Gehler's Wörterb. Th. IV. 554.

[2]) Ann. Chim. et Phys. XXV. p. 405.

Elektricitätslehre angewandt werden könne, ergiebt sich ohne weitere Erläuterung.

Woher die grofse Hitze im Kreise der Volta'schen Säule entstehe, ist oft gefragt. Dafs die El. an sich nicht Wärme sey, auch keine gebunden enthalte, ist oben §. 169 nachgewiesen, und es entscheidet hierfür auch bei der Säule übereinstimmend mit der Reibungselektricität der Umstand, dafs keine Wärme erzeugt wird, sobald der Leiter Masse genug hat, um den el. Strom vollständig zu leiten. Man könnte hiernach geneigt seyn, die Wärme vom Widerstande abzuleiten, welchen die El. in den Leitern zu überwinden hat, allein dieses ist keine eigentliche Erklärung. Uebereinstimmend mit der Ansicht der Wärmephänomene im Allgemeinen scheint mir, dafs die Wärme durch El. auf ähnliche Weise theils aus den Körpern ausgeschieden, theils in Schwingungen versetzt werde, als dieses durch das Licht geschieht; inzwischen ist uns zur klaren Uebersicht des Ganzen und Einzelnen das eigentliche Wesen der unwägbaren Stoffe noch zu wenig bekannt [1].

§. 178.

Vermittelst der Volta'schen Säule ist noch ein merkwürdiger Unterschied der verschiedenen Körper entdeckt, welcher in einem ungleichen Leitungsvermögen für die eine oder die andere der beiden Elektricitäten besteht. Dafs die Sache sich wirklich so verhält, läfst sich nach den genauen, von Erman angestellten Versuchen nicht bezweifeln, allein es sind keineswegs alle Körper hinsichtlich dieses ihres Verhaltens genügend untersucht, noch weniger aber ist ein allgemeines Gesetz desselben aufgefunden.

Die ganze schätzbare, noch bei weitem nicht beendigte, Untersuchung von Erman hat denselben zu folgenden Resultaten geführt. Für die gewöhnliche El. besteht allerdings der bisher erkannte Unterschied des gröfseren oder geringeren Fortleitungs-Vermögens der El., für die feineren Spannungen der Volta'schen Säule aber zeigen sie eine Verschiedenheit, wonach sie in 5 Classen eingetheilt werden müssen.

---

[1]) Vergl. Tatum in Gilb. Ann. XXVII. p. 156.

1) *Nichtleiter* der El., durch welche kein Pol der Säule weder geladen noch entladen werden kann, oder die vollkommenen Isolatoren. Sie hemmen die Schliefsung der el. Kette, heben die gegenseitige Wirkung der El. auf, oder isoliren. Es sind dieses diejenigen Körper, welche nach §. 153 stets als Nichtleiter oder sogenannte idioelektrische Körper angesehen wurden. Ihnen entgegengesetzt sind die vollkommenen Leiter.

2) Unter diese zweite Classe der leitenden Substanzen gehören die bisher bekannten *Leiter*, wobei es jedoch nicht ausgemacht, vielmehr unwahrscheinlich ist, dafs sie alle gleich vollkommen die El. fortführen. Kommen sie in den Kreis der Volta'schen Säule, so verschwinden die eigenthümlichen Eigenschaften beider Pole vollkommen, und der Kreis ist geschlossen. Hierunter gehören vorzüglich die Metalle und überhaupt diejenigen Substanzen, welche nach Volta Leiter erster Classe, oder Erreger der El. durch Berührung genannt werden, und unterscheiden sich

3) von den *unvollkommenen Leitern*, oder Volta's Leitern der zweiten Classe. Sie stellen in den Kreis der Voltaschen Säule gebracht zwar die Verbindung her, allein sie heben die specifischen Wirkungen der individuellen Pole nicht auf, wirken auf beide Pole gleich, und werden daher unvollkommene bipolare Leiter genannt. Dahin gehört vorzüglich das Wasser, aufgelösete Salze und Alkalien, so wie überhaupt wahrscheinlich alle diejenigen Substanzen, welche als Zwischenmittel der verschiedenen Elektromotoren gebraucht werden können. Durch eine merkwürdige Eigenthümlichkeit unterscheiden sich von ihnen diejenigen Substanzen, deren Leitungsvermögen sich blofs gegen den einen Pol äufsert, und welche daher im Kreise der Volt. Säule die E. des einen Poles ableiten, die des andern aber isoliren, mithin den Kreis nicht schliefsen. Sie zerfallen

4) in die vierte Classe der *positiv-unipolaren Leiter*, durch welche im Kreise der Volt. Säule der + Pol entladen wird, der — Pol aber im Maximo seiner Ladung bleibt. Hierunter gehört die Flamme des Weingeistes. Ist dieselbe nicht isolirt, so entladet sie jeden einzelnen Pol, und bringt das Elektrometer am entgegengesetzten zur gröfsten Divergenz; im Kreise der Säule aber, oder mit den Drähten beider Pole berührt behält der — Pol seine gröfste Divergenz, der + Pol aber verliert sie völlig. Die Flamme des Weingeistes ist also positiv-unipolar-leitend. Aehnlich wirken die Flammen der Naphtha, der fetten und ätherischen Oele,

des Bernsteins, Kampfers, Harzes, Wachses, Talgs und des reinen Wasserstoffgas. Die Flamme des reinen Schwefels ist isolirend, der Schwefelfäden aber, wegen vorhandenem Kohlenstoff und Wasserstoff ist positiv - unipolar-leitend.

5) Dagegen giebt es auf gleiche Weise wirkende *negativ-unipolare Leiter,* als die Flamme des Phosphors, der trockne Eiweisstoff und die festen alkalichen Seifen [1].

Die Entdeckung ist höchst wichtig, und entscheidet, vorläufig als wahr angenommen, unbedingt für die dualistische Hypothese, jedoch ist sie nicht ohne Widerspruch geblieben. Unter andern will Delezennes [2] abweichende Resultate erhalten haben, und Configliachi nebst Brugnatelli zogen die Behauptungen in Zweifel [3]. Inzwischen entdeckte Erman selbst später noch andere ähnliche Erscheinungen, indem er fand, dafs der glühende Draht des Glühlämpchens — E. einströmen läfst, + E. aber nicht, dagegen leztere ausströmen, erstere aber nicht, woraus eine reciproke Verschiedenheit beider Elektricitäten folgt [4]. Die Aufgabe ist gewifs wichtig genug, um die Versuche mit den neuesten verfeinerten Apparaten nochmals zu wiederholen.

§. 179.

Da die Kraft der elektrischen Säulen so viel schneller erschöpft wird, je stärker die sie bildenden Metalle durch den Einflufs der feuchten Leiter verändert werden, so wurde man zu dem Versuche veranlafst, diesen nachtheiligen Einflufs möglichst zu vermindern, um dadurch die Wirkung zu verlängern. Weil hierzu nur ein einziges Mittel, nämlich die Entfernung des feuchten Leiter's angewandt werden konnte, so war es eine nahe liegende Aufgabe, diesen durch irgend etwas anderes zu ersetzen. Nach vielfachen Versuchen brachte de Lüc Säulen zu Stande, welche ihre elek-

---

[1]) Gilb. Ann. X. p 1. XI. p. 143. XXII. p. 14.
[2]) Journ. de Phys. LXXXII. 449.
[3]) Gehlen Journ. VIII.
[4]) Berliner Denkschriften 1818. p. 353.

tromotorische Kraft dauernd beibehielten, Zamboni aber war nicht sowohl glücklicher in der Wahl der Bestandtheile einer solchen elektrischen Säule, als vielmehr in der Erfindung eines höchst beweglichen Pendels, welches durch die entgegengesetzten Pole zweier Säulen in steter Bewegung erhalten wird. Man nennt diese sinnreich erdachten Apparate *Zambonische*, oder auch *trockne Säulen*. Sie bestehen aus sehr dünnen Lagen Zink und Braunsteinoxyd, Zink und Kupfer oder auch Zink und Kohle, welche als elektromotorische Substanzen durch trocknes Papier als schlecht leitendes Zwischenmittel getrennt werden, und die erforderliche Spannung durch die grofse Zahl der aufgeschichteten Elemente erhalten.

Den verschiedenen Einflufs des feuchten Leiters oder des leitenden Zwischenmittels zwischen den Metallplatten oder Elektromotoren auf die Wirkung der Säule §. 172 beobachtete man bald. Genauere Versuche aber zeigten, dafs die el. Spannungen bei den verschiedensten Flüssigkeiten dennoch gleich waren, so ungleich sich auch die Stärke der chemischen Action zeigte. Biot [1]) bauete gleiche Säulen mit verschiedenen Flüssigkeiten, und erhielt folgende Resultate.

Flüssigkeiten.	Repulsionen.	Mittel.
Alaunsolution . .	84; 85; 87; 87; 91.	86,8.
Chlors Cali-Sol. .	90; 87; 90.	89.
Salmiaksolution .	88; 87.	87,5.
Wasser	85; 86; 89; 88.	87.

Die el. Spannung war also ohngeachtet der sehr ungleichen chemischen Wirksamkeit nahe gleich. Er bauete darauf eine gleiche Säule mit Pasten von geschmolzenem Salpeter, welche zwar keine Zerlegung des Wassers bewirkte, aber für verschiedene Zeiten folgende zunehmende Spannungen am Elektrometer zeigte.

[1]) S. Traité II. 518.

Zeit der Berührung in Secunden.			Repulsionen am Elektrometer in Graden.
1	—	—	31
2	—	—	51
3	—	—	60
4	—	—	70
5	—	—	75
10	—	—	84
25	—	—	86,5
50	—	—	87,5
75	—	—	88
100	—	—	88.

Man sieht aus diesen und ähnlichen durch verschiedene andere Physiker erhaltenen Resultaten, daſs die Volt. Säulen mit schlechteren Zwischenleitern eine gleiche el. Spannung als mit besseren geben, allein wegen der Langsamkeit der Erneuerung der E. und daraus folgender geringerer Anhäufung derselben an den Polen können sie die nämlichen chemischen Effecte nicht hervorbringen. Die Aufgabe, eine hinlänglich leitende, und dennoch die Metalle gar nicht zerstörende, Substanz statt des feuchten Leiters aufzufinden, war jedoch keineswegs leicht, und es wurden daher lange Zeit viele Versuche gemacht, Säulen ohne alle Feuchtigkeit zu construiren, z. B. von Marechaux [1]), von Behrens, welcher die eigentliche Idee der nachher erfundenen Zambonischen Säule oder des perpetuum mobile zuerst am bestimmtesten aufgefaſst zu haben scheint, und seine Säulen aus Zink, Kupfer und Goldpapier aufbauete [2]), und verschiedenen anderen. Am eifrigsten arbeitete de Lüc an der Ausführung derselben, und trennte die elektromotorischen Metalle durch die verschiedensten Substanzen, unter denen ihm Papier die besten Dienste leistete. Seine Säulen aus verzinntem Eisenblech und Goldblattpapier zeigten el. Spannung ohne chemische Wirksamkeit, und wurden von ihm zu meteorologischen Beobachtungen angewandt [3]). Zamboni's Säule wurde 1814 bekannt, und besteht aus Scheiben ungeleimten Silberpapiers, welches auf der nicht metallenen Seite mit Honig oder Baumöl überstrichen und mit feinem Braunstein überpudert wird. Gegen 2000 solcher Lagen, von 0,5 bis 0,75 Z. Durchmesser aufgeschichtet,

[1]) S. Gilb. Ann. XXII. 313. XXIII. 220.

[2]) S. ebend. XXIII. 4.

[3]) S. Singer Elektricitätslehre p. 281. Gilb. Ann. XLI. 162. XLIX. 100.

in eine Glasröhre trocken eingekittet, geben eine nach ihm benannte *Zamboni'sche Säule*, auch *trockne Säule* genannt.

Eine Hauptsache, welche diesen Säulen bald allgemeinen Eingang verschaffte, und ihren Werth bedeutend erhöhte, war die Verbindung derselben mit einem höchst beweglichen,
Fig. 214] feinen, durch ein Gegengewicht balancirten Pendel. Zwei solche Säulen in mit Siegellack überzogenen und gegen das Eindringen der Feuchtigkeit verwahrten Glasröhren eingeschlossen, werden lothrecht auf zwei Brettern n; n' neben einander so aufgestellt, daſs mit den oberen ungleichnamigen Polen zwei metallene Kugeln c; c' in Verbindung
Fig. 215] sind. Zwischen diese wird auf einem Brette ein hölzerner Träger des Pendels aufgerichtet, welches leztere aus einem sehr feinen, mit Siegellack überzogenen Glasstängelchen β besteht, an dessen oberen Ende ein silberner Ring b von etwa 1 Zoll Durchmesser befestigt ist, und bei den Schwingungen des Pendels in Folge der Anziehung und Abstoſsung der Kugel c und c' abwechselnd gegen diese schlägt, weswegen man statt derselben auch metallene Glocken zu wählen pflegt, um das Anschlagen hörbar zu machen. Damit das Pendel möglichst leicht beweglich werde ist dasselbe auf den feinen Stahlspitzen m; m balancirt, welche höher und niedriger geschroben werden, damit der Schwerpunct des ganzen Pendels nur sehr wenig unter den Mittelpunct der Stange falle, deren oberes, mit dem Ringe b versehenes Ende durch die kleine metallene, und an einem Drahte α von Messing befestigte Linse a genau balancirt ist. Da sich die Elektricität in den Säulen stets erneuert, so wird der Ring fortdauernd angezogen, geladen, dann abgestoſsen, und vom andern Pole angezogen, um auch dort sogleich abgestoſsen zu werden, weswegen dieser Apparat *perpetuum mobile* heiſst.

Ramis in München, und Buzengeiger in Tübingen verbanden das Pendel mit einem Uhrwerke, und benutzten die el. Kraft als fortdauernd wirkendes mechanisches Mittel [1]).

In Deutschland hat man weniger die eben angegebenen Elemente der trocknen Säulen, als vielmehr die durch den Leibmedicus Jaeger in Stuttgart vorgeschlagenen in Anwendung gebracht, welche aus abwechselnden Lagen von sogenanntem Silber- und Gold-Papier, deren Metalle bekanntlich Zink und Kupfer sind, bestehen. Ganze Bogen dieses Papieres werden mit den metallischen Seiten ohne

[1]) S. Gilbert Ann. LI. 188. Vergl. LIII. 336. LX. 187.

Bindemittel zusammengelegt, dann in Scheiben von 0,5 bis 0,75 Z. Durchmesser geschnitten, in gleichbleibender Folge auf einander bis meistens zu 2000 Doppellagen geschichtet, vermittelst Seidenfäden zusammengehalten, oder ohne weiteres in die Glasröhren gebracht, und gegen das Eindringen der Feuchtigkeit durch Siegellackfirnifs oder Harz-Ueberzug geschützt. Hierbei geben die beiden Metalle die Elekmotoren, das Papier aber den trocknen Zwischenleiter, und es ist blofs dahin zu sehen, dafs die einmal gewählte Reihenfolge der Elektromotoren in der ganzen Länge der Säufe nicht abgeändert werde, wonach dann die Zinkseite den + Pol, die Kupferseite den — Pol bildet. Ueberhaupt ist das Zink ein so überwiegend positiv el. Körper, dafs es in allen Verbindungen dieser Art seinen Platz beibehält.

Im Wesentlichen ist man nämlich seither stets bei diesen anfänglichen Constructionen geblieben, obgleich einige Vorschläge zur Abänderung derselben geschehen sind. Unter andern schlägt Singer[1]) als Elemente solcher Säulen vor fein gewalzten Zink und ächtes Silberpapier mit Lagen von feinem trocknen Papiere abwechseln zu lassen. Er wollte nach dieser Art eine Säule von 6000 Lagen verfertigen, um zu versuchen, ob hierdurch chemische Wirkungen zu erhalten sind, welches aber durch v. Bohnenberger längst erwiesen und durch so vielelementige Säulen überall nicht erreichbar ist. Zamboni selbst hat seitdem die verschiedenen Modificationen der nach ihm benannten Säulen noch weiter untersucht, und eine neue, weit wirksamere angegeben. Er überstreicht feines Silberpapier auf der nicht metallischen Seite mit einer mäfsig starken Auflösung von schwefelsaurem Zink, trocknet dasselbe an der Sonne bis zum Zustande der gewöhnlichen Trockenheit des Papiers, reibt in dasselbe aufgepudertes Magnesiumoxyd, und bauet die Säule vor dem gänzlichen Austrocknen des Papiers[2]). Um sie dann gegen ferneren Einflufs der Feuchtigkeit und Austrocknung zu sichern, schliefst er dieselben in Glasröhren ein, und giefst die Zwischenräume mit einem Firnifs aus Wachs und Terpentin voll. Diese Säulen zeigen eine stärkere bewegende Kraft und selbst bei gröfserer Helle einen sichtbaren Funken, welcher bei den Jägerschen oder früheren Zambonischen nur in gröfster Dunkelheit sichtbar wird. Die neuesten sehr wirksamen, und vermuthlich dauer-

[1]) S. Elektricitätslehre p. 282.

[2]) Gilb. Ann. LX. 153.

haften, Säulen, welche ich bei Zamboni gesehen habe, bestanden aus Lagen von sogenanntem Silberpapier, wobei die nicht metallische Seite mit etwas Milch befeuchtet, dann mit Kohlenstaub bepudert und getrocknet war. Das Einschliefsen in Glasröhren und Sichern gegen Feuchtigkeit bleibt dabei dasselbe. Solcher Säulen von etwa 1,5 Z. im Durchmesser und 15 Z. Länge werden mehrere oder wenigere, je nach der geforderten gröfseren oder geringeren Wirkung durch metallene, mit ihren Polen verbundene Haken vereinigt, welche Verbindungen man Säulenketten nennen könnte. Vermittelst zweier solcher Säulenketten wird ein auf verticaler Axe beweglicher horizontaler gläserner Balancier dadurch in steter Umdrehung erhalten, dafs er mit zwei schmalen und sehr biegsamen Platinblechen an den Kugeln ihrer ungleichnamigen Pole hinstreicht. Durch diesen wird ein Centrifugalpendel in Bewegung gesetzt, welches ein Uhrwerk treibt, dessen richtiger Gang durch ein gewöhnliches Pendel mit einer schweren Linse bedingt ist.

Bei der trocknen Säule kommen hauptsächlich zwei Fragen zur Untersuchung, nämlich zuerst ob sie im Principe und in der Wirkungsart dem Wesen nach mit der nassen Säule identisch, und zweitens ob sie von beständiger Dauer ist, also mit Recht ein *perpetuum mobile* genannt werden kann. Die erste Frage läfst sich unbedingt bejahen. Zuerst nämlich wird die trockne Säule ganz nach dem Princip der nassen gebauet, indem sie aus zwei Metallflächen in unmittelbarer Berührung und aus einem unvollkommenen Leiter, dem zwischenliegenden Papiere, besteht, und zwar bei den eigentlichen Zambonischen nur aus einer, bei den Jägerschen aber aus zwei Papierlagen, weswegen die ersteren auch stärker sind. Die nassse Säule geht ferner durch Austrocknung des feuchten Zwischenmittels in die trockne über, und behält beim Verluste ihrer chemischen Kraft ihre mechanische bei, wie aus Biot's angegebenen Versuchen folgt. Inzwischen hat v. Bohnenberger sogar dargethan, dafs die trockne Säule bis zur Kraft der Wasserzersetzung gesteigert werden kann, wenn man dieselbe aus 2000 Lagen von 6 Z. Seite aufbauet. Der Unterschied beider beruhet also blofs auf der schlechteren Leitung des trocknen Leiters zweiter Classe (nach Volta), durch welchen die erregte El. zu langsam strömt, und daher an den Polen nicht schnell genug in gehöriger Menge aufgehäuft wird, um bei der Strömung durch die in ihrem Kreise befindlichen Substanzen diese zu zerlegen. Hiermit überein-

stimmend ergiebt die Erfahrung, dafs die Menge der erzeugten El., oder die Ladung, der Gröfse der Platten, die el. Spannung aber ihrer Menge proportional ist, wie bei den nassen Säulen. Inzwischen hat die Vermehrung der Zahl der Elemente ihre Grenze, indem die Stärke der Spannung anfangs mit der Menge der Platten zunimmt, nachher aber nicht mehr und bei 20000 nach der Beobachtung von Singer ganz aufhört, weil dann die erregte E. die zu grofse Menge der unvollkommenen Leiter nicht mehr durchdringen kann. Bis soweit dient also die trockne Säule sehr zur Bestätigung der Volta'schen Theorie.

Ungleich schwieriger zu beantworten ist die andere Frage, nämlich ob die trockne Säule wirklich ein *perpetuum mobile* sey. Diese gehörig zu würdigen mufs zuvörderst bemerkt werden, dafs dieselbe das so lange gesuchte *perpetuum mobile mechanicum* nicht seyn könne, insofern sie die Kraft ihrer erzeugten Bewegung nicht durch diese leztere selbst erhält, sondern ein *perpetuum mobile physicum*, deren es mehrere giebt, insofern die Bewegung durch eine nie aufhörende Naturkraft ohne Ende gegeben wird. Als Gegengrund gegen die Annahme, dafs die Säule ein wirkliches *perpetuum mobile* sey, können ferner die allgemeinen Argumente nicht geltend gemacht werden, dafs es keinen Körper gebe, welcher nicht endlich durch den Einflufs der Zeit zerstört werden müsse; denn da es denkbar ist, dafs eine gegebene Säule gegen alle mögliche äufsere Einflüsse gesichert werde, so müfste sie dem Begriffe nach auch ewig dauern können, insofern die Ungewifsheit einer steten Dauer des Körperlichen, und mögliche oder wahrscheinliche zufällige, nicht aus der Natur des gegebenen Objectes selbst hervorgehende Zerstörungen bei der Feststellung jenes Begriffes gar nicht in Betrachtung kommen. Die Frage ist also, richtig aufgefafst, nur die, ob in der Wirksamkeit der trocknen Säule zugleich die Bedingung einer Veränderung der Metalle oder des Zwischenleiters liege, durch welche beide, oder mindestens eins derselben, allmälig für seine Functionen untauglich werde, wenn auch diese Veränderung in einer beliebig langen Reihe von Jahren nicht merklich seyn sollte. Obgleich es Säulen giebt, welche bereits 10 bis fast 15 Jahre ohne merkliche Veränderung in Wirksamkeit geblieben sind, so ist eine sehr langsame Zerstörung doch wahrscheinlich, da das Papier derselben nach genauen Versuchen, namentlich von

v. Bohnenberger [1]), Zamboni [2]) und Parrot [3]) nicht völlig ausgetrocknet seyn darf. Bei einigen wieder auseinander gelegten trocknen Säulen, namentlich in Paris, soll sich auch allerdings eine Zerstörung der Metalle gezeigt haben [4]).

§. 180.

Wenn man die mechanischen Wirkungen der Elektricität, den eigenthümlichen Geruch derselben und die diesem ähnliche Afficirung der Geschmacksorgane, die allmälige Herstellung des aufgehobenen Gleichgewichts, die verschiedene Leitungsfähigkeit der Körper für dieselbe, ihre chemische Wirksamkeit und überhaupt die Gesammtheit der Erscheinungen berücksichtigt, welche sie darbietet, so kann man nicht umhin, einen eigenthümlichen Stoff als die Ursache aller dieser Aeufserungen anzunehmen. Ungleich schwieriger ist die Entscheidung der Frage, ob die elektrischen Erscheinungen nach Franklin aus einem Ueberflufs und Mangel dieser einen einfachen Potenz zu erklären sind, oder ob nach Symmer zwei unter sich höchst ähnliche, vorzüglich nur durch ihren Gegensatz unterschiedene Substanzen dabei zum Grunde liegen. Unleugbar lassen sich die meisten Erscheinungen nach beiden Theorieen sehr gut erklären, und es würde demnach schon wegen des Gesetzes der Sparsamkeit consequenter seyn, der von Franklin aufgestellten beizutreten. Allein selbst die Gesetze der elektrischen Repulsion, insbesondere aber die Hervorrufung der Elektricität durch Vertheilung, das Strömen beider

---

[1]) Gilb. Ann. LIII. p. 353.

[2]) Ebend. LX. p. 153.

[3]) Ebend. LV. p. 220 und in dessen Lehrbüchern.

[4]) Das vorzüglichste Werk über die trocknen Säulen ist: L'Elettromotore perpetuo, trattato dell'Abbate G. Zamboni. Part. I. Verona 1820. Parte II. ebend. 1822. 8. Ueber Ritter's Ladungssäulen s. Voigt Mag. VI. 181. Gilb. Ann. XIX. p. 490.

Elektricitäten aus Spitzen, die verschiedene Leitungsfähigkeit der Körper für dieselben und die Art der chemischen Zerlegung durch die Volta'sche Säule sind mit der Annahme nur einer Elektricität nicht wohl verträglich, und bestehen daher als vorzüglichste Gründe für den Dualismus.

Zur Annahme eines individuellen, die el. Erscheinungen hervorbringenden Stoffes berechtigen gleiche Gründe, als diejenigen, welche für Wärme und Licht geltend gemacht sind. Auch die E. unterliegt den Bedingungen des Raumes, der Zeit und der gegenseitigen Anziehung zu den verschiedenen materiellen Substanzen, und bewegt sich noch obendrein frei durch den leeren Raum. Die Erklärung der el. Erscheinungen aus Undulationen, wellenartigen Schwingungen u. s. w. ist daher, genau genommen, ganz unmöglich, da sich el. Lichtentwickelung selbst im Torricellischen leeren Raume zeigt, und man also bei der Annahme von el. Undulationen einen eigenen Elektricitäts-Aether annehmen müfste, welcher aber gleichfalls nicht füglich etwas anders als ein materieller Stoff seyn könnte. Die mitunter aufgestellte Behauptung, dafs die E. nichts weiter, als eine Thätigkeit sey, hat, genau genommen, keinen Sinn; denn es unterliegt wohl keinem Zweifel, dafs bei jeder el. Erscheinung etwas Thätiges, d. h. ein wirkendes Princip vorhanden sey, allein hiernach wird aus begreiflichen Gründen nicht gefragt, sondern nur, was dieses wirkende Agens an sich sey, und dabei ist es undenkbar, die el. wirksamen Körper als durch sich selbst thätig zu betrachten, wenn man ihnen nicht freien Willen zuzugestehen geneigt ist. Wenn z. B. der Blitz einen Baum zerschlägt, so ist hierbei ohne Widerrede eine el. Thätigkeit vorhanden, allein es fragt sich was thätig sey? Unmöglich ist dieses der Baum; und soll es der Blitzstrahl seyn, so wird ja damit dem unbekannten Etwas, dem el. Funken, die Eigenschaft der Thätigkeit beigelegt, und dessen wirkliche Existenz damit schon in Voraus zugestanden.

Franklin [1]), der eigentliche Begründer der Elek-

1) S. Benj. Franklin's Briefe von d. El., übers. von Wilke. Leipz. 1758. 8. Cavallo's u. andere ältere Werke über d. El. Vergl. Cavendish in Phil. Trans. LXI. 584. Aepinus tentamen theoriae El. et Magnetismi. Petrop. 175·. Auch in Donndorf's Lehre von d. El. Erf. 1784 und in Socin's Anfangsgr. d. El. Hanau 1778 u. a. ist diese Theorie vorgetragen.

tricitäts-Lehre, nimmt an, dafs alle Körper bis zum Grade der Sättigung mit El. erfüllt sind, und dafs hierin der natürliche Zustand des Gleichgewichts bestehe. Erhält ein Körper mehr als hierzu erforderlich ist, oder eigentlicher mehr als die umgebenden Körper, so ist er + el.; wird ihm dagegen von diesem zur Sättigung erforderlichen Antheile entzogen, so ist er — el. Robert Symmer nimmt dagegen zwei an sich unwesentlich verschiedene, einander entgegengesetzte Materien an, welche sich gegenseitig binden und neutralisiren [1]), welche Hypothese Cigna [2]) zuerst wissenschaftlich ausgeführt hat. Wenn nun bis so weit die Franklin'sche Theorie ein entschiedenes Uebergewicht erhält, als es mit der in der Natur überall bemerkbaren Einfachheit im Widerspruche stehen würde, zwei einander so höchst ähnliche Potenzen zur Erklärung der el. Phänomene anzunehmen, so zwingt das tiefere Eindringen in die gesammten el. Erscheinungen dennoch zur Annahme zweier El., weswegen auch diese Hypothese bei der bisher mitgegetheilten Erläuterung der Elektricitätslehre zum Grunde gelegt ist, obgleich es nur wenige Erscheinungen giebt, welche nicht mehr oder minder leicht und consequent aus beiden Theorieen erklärt werden können.

Das Hauptargument, welches Symmer und seine Anhänger Franklin entgegenstellten, war die Repulsion der — El. als positive Wirkung eines Mangels. Um diesem Einwurfe zu begegnen nahmen die Unitarier ihre Zuflucht zu einer el. Atmosphäre, indem sie behaupteten, dafs zwei — el. Körper die zwischen ihnen befindliche Atmosphäre an beiden Seiten mit + El. erfüllten, und hierdurch abgestofsen würden. Wenn aber, wie die Unitarier anzunehmen geneigt sind, die El. eine, absolute Repulsion besitzende, Potenz ist, so sieht man nicht ein, warum zwei im Zustande der Sättigung befindliche, also offenbar mit + El. geladene Körper sich nicht gleichfalls abstofsen sollten, und es hierzu erst eines verhältnifsmäfsigen Ueberflusses oder Mangels bedürfen sollte. Im lufterfüllten Raume könnte man diesen Zustand der Ruhe als eine Folge der auf gleiche Weise elektrisch erfüllten Luft ansehen, allein im möglichst luftverdünnten Raume und im absoluten Vacuo müfste sich entweder diese Abstofsung zwischen zwei Holundermark-Kugeln zeigen, oder man müfste annehmen, dafs die El. sich dort

[1]) S. Phil. Trans. LXI. 310.
[2]) Miscell. Taur. 1765. p. 1. ff.

sogleich zerstreue und den umgebenden Wandungen mittheile, in welchem Falle aber die im Vacuo gewesenen Körper im Augenblicke des Zulassens von Luft auf das Maximum der — el. Spannung kommen würden, oder endlich wäre zur Unterstützung der einen Hypothese noch eine andere nöthig, nämlich dafs die El. bis zum Puncte der Sättigung so sehr gebunden werde, dafs sich keine Abstofsung zeigen könnte, wodurch aber die ganze Theorie nicht anders als höchst schwankend erscheinen könnte.

Dagegen läfst sich die Erscheinung des Abstofsens leicht nach dem Dualismus erklären, wenn man annimmt, dafs die Sättigung beider El. im gewöhnlichen Zustande, welche jeder anderen Neutralisation ähnlich seyn mufs, alle elektrische Wirkungen aufhebt, jede freie El. dagegen, durch Anziehung an ihren festen Körper gebunden, zugleich aber eine Atmosphäre um denselben bildend, in jedem neutralen Körper die gleichnamige zurückstofst, die ungleichnamige aber anzieht, und weil die leztere ihr deswegen näher ist, als die erstere, den ganzen Körper mit einer dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Kraft anzieht. Ist derselbe dann in der Berührung mit der gleichnamigen El. überfüllt, so mufs zwischen beiden eine Abstofsung nach gleichem Gesetze stattfinden.

Einen gleichfalls sehr entscheidenden Beweis liefert die Erregung der El. durch Vertheilung in den sogenannten Nichtleitern, indem nach Franklin nicht begreiflich ist, warum z. B. ein Harzkuchen keine + El. annimmt, ohne dafs sein eigener Antheil + El. an der entgegengesetzten Seite abgeführt wird. §. 161. Man mufs hierbei nämlich abermals zu der Hülfshypothese seine Zuflucht nehmen, dafs alle Körper ihrer Natur nach über den mittleren Zustand der Sättigung nicht hinausgehen könnten, indem sonst der relative Ueberflufs an El. auf der einen Fläche mit dem relativen Mangel auf der andern nothwendig eine Flasche erzeugen müfste. Um dieses richtiger einzusehen, seyen die beiden Flächen der Flasche a und b und die relative Menge der El. auf beiden = o. Wird eine Quantität + El. in Zahlenwerthen = 10 an a mitgetheilt, und eben so viel durch Repulsion von b weggeführt, so ist die Stärke der Spannung zwischen beiden = 20 und nach der Vereinigung = o. Wird aber die El. von b nicht abgeleitet, so wäre der Spannungsunterschied zwischen beiden = 10 und nach der Vereinigung = 5. Beide Flächen müfsten also nach der Vereinigung einander gleich seyn, und die Hälfte der

ursprünglichen auf a betragen, welches aber, eben wie jene Hülfshypothese, der Erfahrung widerstreitet. Bei der Annahme zweier El. ist diese allgemeine Erscheinung eine nothwendige Folge der Theorie. Ist nämlich die Flasche im neutralen Zustande, oder nicht geladen, so kann ihre El. nicht absolut $= o$, sondern nur relativ $= o$ seyn, insofern kein Ueberflufs von positiver oder negativer El. vorhanden ist. Heifst dann die im Zustande der Neutralisation oder des natürlichen Gleichgewichts vorhandene Menge der ersteren $= n$, der lezteren $= n'$, und wird $n + n' = m$, wenn m den natürlichen Sättigungspunct bezeichnet, so ist im ungeladenen Zustande der Flasche auf der Fläche a und auf b gleichmäfsig m vorhanden, und kann bei $m = m$ keine Wirkung stattfinden. Da aber, auf gleiche Weise als n und n' sich zur Neutralisation verbinden, dieses auch bei $\frac{n}{x}$ und $\frac{n'}{x}$ der Fall seyn wird, so mufs in dem Falle, wenn der Seite a von freier positiver Elektricität $\frac{n}{x}$ zugeführt wird, dieser eine der Stärke des zuleitenden Conductors proportionale Menge, also $\frac{n'}{x}$ an negativer entzogen werden, weil die Zurückstofsung der gleichnamigen und die Bindung der ungleichnamigen El. der Stärke der Spannung oder der Gröfse des Ueberschusses der einen über den Mangel der andern proportional ist. Hiernach befindet sich also auf der Fläche a zusammen $m + \frac{n}{x} - \frac{n'}{x}$ und weil $\frac{n}{x}$ auf a durch Repulsion $\frac{n}{x}$ auf b frei macht und $\frac{n'}{x}$ bindet, so wird bei völliger Isolirung von a und b keine Ladung statt finden können, weil, wie klein auch x, also wie grofs auch $\frac{n}{x}$ seyn mag, $\frac{n}{x} - \frac{n'}{x}$ auf a stets den $\frac{n}{x} - \frac{n'}{x}$ auf b gleich seyn mufs, folglich keine Aufhebung des Gleichgewichtes stattfinden kann. Ist aber Ableitung für b hergestellt, so wird auf a im Zustande der Ladung $m + \frac{n}{x} - \frac{n'}{x}$ auf b dagegen $m - \frac{n}{x} + \frac{n'}{x}$ vorhanden seyn, deren Streben nach Ausgleichung den Flaschenschlag erzeugt, worauf dann $m + \frac{n}{x} - \frac{n'}{x}$ und $m + \frac{n}{x} - \frac{n'}{x}$ nach

der Vereinigung 2 m giebt, wie vorher. Es ließe sich leicht zeigen, daſs hiernach der einfache Funke dem Wesen nach dem Flaschenfunken gleich seyn muſs Die richtige Ansicht der el. Erscheinungen scheint mir durch die nicht gleichgültige, und daher ungeeignete Bezeichnung von + und — sehr erschwert zu werden

Daſs beide El. aus Spitzen ausströmen, zeigt sich durch den von mir angegebenen Versuch mit einer Räucherkerze oder kleinen Lichtflamme, welche man abwechselnd auf den + oder — Conductor setzt und ihnen eine nicht isolirte Spitze nahe bringt, oder auf ein Stativ stellt und eine isolirte, mit dem einen oder dem andern Conductor in Verbindung stehende Spitze nähert [1]).

Ganz unverträglich mit der Annahme einer einzigen el. Materie ist die Art der Zerlegung der Körper in der Kette der Volta'schen Säule. Wird z. B. Wasser in seine beiden Bestandtheile zerlegt, so muſs an jedem Draht-Ende sowohl Wasserstoffgas als Sauerstoffgas entbunden werden. Daſs aber in diesem Falle an jedem Ende nur eins von beiden sichtbar erscheint, ist bloſs dann erklärlich, wenn man annimmt, daſs das andere durch die El. gebunden zum entgegengesetzten Ende übergeführt wird [2]).

Als ein Beweis für Franklin's Theorie wird die Erscheinung angesehen, daſs eine Charte zwischen zwei etwas entfernten, auf beiden Seiten anliegenden, Enden eines allgemeinen Entladers allezeit von dem + el. nach dem — el Ende hin durchbrochen wird [3]). Allein diese Thatsache beweiset bloſs die stärkere Spannung und Kraft der + El. zur Durchbrechung der nichtleitenden Luft, und fällt daher im luftleeren Raume weg [4]). Eben diese Erklärung ist auf den Versuch von Cuthbertson anwendbar, wodurch er die Franklinsche Theorie beweisen zu können glaubt, daſs nämlich eine Lichtflamme oder das Flugrädchen zwischen den Drähten beider Conductoren, stets nach der negativen Seite bewegt wird [5]). Allein das Resultat der Versuche dieser Art ist nicht stets sicher, und die Erhitzung der Spitzen, zwischen denen sich die Lichtflamme befindet, zeigt sich bald an der positiven, bald an der negativen Seite, je nachdem die

[1]) S. Gilb. Ann. XLI. 93. Vergl Remer ebend. VIII. 323.
[2]) S. §. 276. Vergl. Erman in Gilb. Ann. X. 17.
[3]) S. Goug in Nichols. J. 1812. Jul. Vergl Biblioth. Brit. 1812. Oct.
[4]) S. Tremery in Gilb. Ann. XXIII. 426.
[5]) Gilb. Ann. XXIV. 113.

Flamme verschieden ist, welche sich zwischen den Drähten befindet [1]. Sehr entscheidend für den Dualismus ist ferner der durch van Moll [2]) beschriebene Versuch, wonach der Batteriefunke ein Stanniolblatt mit zwei Löchern durchbohrt, §. 166, die durch Erman erhaltenen Resultate einer ungleichen Leitungsfähigkeit der verschiedenen Körper für die beiden Elektricitäten aber §. 178 sind mit Franklin's Hypothese durchaus nicht verträglich, anderer minder wichtiger Gründe nicht zu gedenken.

§. 181.

Ueber das eigentliche Wesen der el. Flüssigkeit hat man verschiedene Meinungen aufgestellt, ohne dafs bis jezt irgend eine über das blofs Hypothetische hinaus zu einem höheren Grade der Evidenz erhoben werden konnte. Die meisten derselben haben gegenwärtig nur noch geschichtliches Interesse. Aus allen Untersuchungen geht so viel hervor, dafs die El. nicht mit einem sonstigen bekannten Stoffe identisch, sondern ein eigenthümlicher Stoff sey, wobei jedoch das Verhältnifs beider Elektricitäten zu einander höchst schwierig zu erklären ist.

Newton glaubte in der El. eine der Schwere ähnliche Kraft zu erkennen, und du Fay führte sie nach Cartesius auf die Theorie der Wirbel zurück. Nach Wilke bestehen die beiden El. aus Feuer und Säure [3]), nach Kratzenstein aus Säure und Phlogiston [4]), nach Forster aus Wärme und Phlogiston an eine feine Säure gebunden [5]), nach Gren aus Licht und Wärme, nach de la Metherie aus einer Art inflammabeler Luft, nach Brugnatelli aus einer Art Säure, nach Schrader aus Sauerstoff und Lichtstoff, nach Lichtenberg aus Sauerstoff, Wasserstoff und Wärme. Manche glaubten in der Grundlage der El. den Sauerstoff zu erkennen, z. B. v. Yelin [6]), insbesondere

---

[1]) Brande in Phil. Trans. 1814. I.
[2]) Journ. de Phys. XC. p. 396.
[3]) S. Schwed. Abh. XXXIX. 68.
[4]) S. Lichtenberg Mag. I. 113.
[5]) S. v. Crell neueste Entd. XII, 154.
[6]) S. dessen Experimentalnaturlehre §. 561.

aber Ant. Heidmann [1]. Achard hielt sie schon früher mit dem Feuer für identisch, welcher Meinung auch Libes zugethan ist [2]. Nach Lampadius bilden Licht und Wärme mit Sauerstoff die eine, mit Wasserstoff die andere El., welcher Meinung auch andere zugethan waren.

Die meisten dieser Hypothesen werden durch bekannte unleugbare Thatsachen widerlegt, und im Ganzen ist kein Grund vorhanden, warum wir nicht wegen der Menge ganz eigenthümlicher Wirkungen beider Elektricitäten, eine für sich bestehende individuelle Potenz als Ursache derselben ansehen sollten. Eine Zusammensetzung derselben aus bekannten Stoffen anzunehmen kann man gegenwärtig weniger als früher geneigt seyn. Licht und Wärme werden ausgeschlossen, sobald man bei ersterem der Undulationshypothese huldigt, hinsichtlich der lezteren aber zugesteht, dafs die E. an sich nicht warm sey, anderweitiger bedeutender Unterschiede nicht zu gedenken.

Eine der gröfsten Schwierigkeiten bei der Erklärung liegt in dem eigenthümlichen Verhalten beider Elektricitäten, und dafs ihr Wirkungskreis sich durch die Nichtleiter thätig zeigt, ohne dafs ihre Masse selbst durch dieselben dringt. De Lüc [3] wurde dadurch veranlafst, die E. für eine dampfartige, aus Wärme als *fluidum deferens* und einer wägbaren Grundlage eigenthümlicher Art bestehende Flüssigkeit zu halten, allein diese Hypothese genügt nicht zur Erklärung der Thatsachen. Eine zweite grofse Schwierigkeit erwächst aus der grofsen Aehnlichkeit beider Elektricitäten, welche in den meisten Aeufserungen ihres Verhaltens so ähnlich sind, dafs kaum ein Unterschied zwischen ihnen aufgefunden werden kann, und dennoch einander entgegengesetzt sind und sich nicht allein zu o ihrer Wirksamkeit neutralisiren, sondern auch in einigen ihrer Wirkungen einen unverkennbaren Unterschied darthun. Aufser den bereits mitgetheilten Thatsachen gehören hierhin noch folgende. Wenn man bei einer starken Säule einen + el. Platindraht der — el. Kohlen ähert, so wird die Hitze desselben viel stärker und sein

1) Vollständige, auf Versuche und Vernunftschlüsse gegründete Theorie der El. Wien 1799. 2 vol.

2) S. l'electricité, sa cause, sa nature, sa theorie; le Galvanisme, le Magnetisme par M. Libes. Par. Vergl. J.de ph. LXVI. 393.

3) Neue Ideen über die Meteorol. I. p. 186. Gren Journ. IV. p. 91. Lampadius Versuche und Beob. über d. E. u. Wärme d. Atmosphäre Cap. II.

Verbrennen viel rascher seyn, als bei der umgekehrten Anordnung. Nimmt man aber statt der Kohle einen unvollkommenen Leiter, z. B. Schwefelsäure, so wird der Draht, wenn die leztere + el. ist, augenblicklich glühen, wenn sie aber — el. ist, bemerkt man blofs einen Funken blauen Lichtes[1].

Wenn es erlaubt ist, bei ausgemachten Thatsachen schwache Analogieen zur Aufstellung von Hypothesen zu benutzen so lassen sich diese allerdings auffinden. Es ist nämlich unverkennbar, dafs die positive E. einen säuerlichen, die negative einen alkalischen Geschmack, beide eigenthümlicher Art, aber sehr kenntlich, hervorrufen. Man hat die Frage aufgeworfen, ob dieses nicht Folge einer durch die E. bewirkten chemischen Zersetzung des Speichels oder Nasenschleimes sey, allein das ist durchaus nicht wahrscheinlich. Wenn man nämlich bei nicht allzutrockner Luft eine wirksame Elektrisirmaschine einigemale umdrehet, so nehmen umstehende Personen unter günstigen Umständen, namentlich bei schwachem Luftzuge, oft nach 15 bis 30 Sec. vom Aufhören des Umdrehens an gerechnet in 18 bis 25 und mehreren Fufsen Abstande von der Maschine den säuerlichen Geruch sehr kenntlich wahr, wobei doch nach einer so langen Zeit, auf so grofse Entfernung und noch obendrein bei der chemisch so wenig wirksamen Reibungselektricität an eine chemische Zersetzung der Feuchtigkeiten auf den Geruchs- und Geschmacks-Organen nicht füglich zu denken ist. Füllt man nach Volta[2]) einen zinnernen Becher mit Kalkmilch oder am besten mit einer schwachen alkalischen Lösung, so wird leztere in Berührung mit dem Zinn positiv el. das Metall aber negativ. Fafst man hernach den Becher mit den Fingern an, nachdem diese zuvor mit reinem Wasser benetzt sind, und berührt dann die Flüssigkeit mit der Zungenspitze, so empfindet man im Anfange, ehe die Einwirkung der alkalischen Lauge überwiegend wird, einen säuerlichen Geschmack. Es ist nicht wohl möglich, diese Thatsache mit der Hypothese zu vereinigen, dafs im Augenblicke der el. Einwirkung die zerlegten Salze des Speichels den säuerlichen Geschmack erzeugen sollten, weil die el. Spannung für eine so rasch erfolgende chemische Wirkung offenbar zu schwach ist, und aufserdem die entbundene Säure durch das Alkali sogleich neutralisirt werden würde.

---

[1]) S. Davy Elemente p. 156.

[2]) Gren N J. III. p. 480.

So wie daher das Wasser, welches sowohl einzeln als auch in seinen beiden Bestandtheilen eine so grofse Rolle unter den wägbaren Stoffen spielt, aus zwei in so fern ähnlichen Bestandtheilen besteht, als beide mit verschiedenen andern Substanzen Säuren bilden, bei ihrer Vereinigung Licht und Wärme ausscheiden und mit einander verbunden einen neutralen Körper erzeugen, würden auch beide Elektricitäten ein ähnliches Verhalten zeigen. Leztere erscheinen indefs einzeln nur in einer Art Dampfform, und werden im Zustande der Vereinigung so stark durch die Anziehung der Körper gebunden, dafs man gar keine Wirkungen derselben wahrnimmt. Allerdings ist eine bedeutende Verschiedenheit zwischen beiden verglichenen Stoffen unverkennbar, allein eine gewisse Aehnlichkeit kann auf gleiche Weise nicht in Abrede gestellt werden. Hiermit wäre indefs die Elektricität nur den übrigen Stoffen mehr angereihet, ohne über ihr eigentliches Wesen etwas Bestimmtes anzugeben, wenn man auch die wechselseitige Verwandtschaft zwischen Sauerstoff und negativer, Wasserstoff und positiver Elektricität, oder umgekehrt, mehr hervorheben wollte [1]).

---

[1]) Zur Literatur dienen Priestley Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektricität übers von Krünitz 1772. 4. B. Franklin's Briefe von der Elektricität, mit Anmerk. von J. C. Wilke. Leipzig 1758. 8 Precis de l'Electricite par l'Abbé Jacquet. Vienne 1775. An essay on electricity by G. Adams. Lond. 1784. Uebers. Leipzig 1785. J. Cuthbertson's Abhandlung von der Elektricität aus dem Holländischen übers. Leipzig 1786 Physische Untersuchungen über die Elektricität von Marat, übers. von Weigel. Leipzig 1784. Praktische Elektricitätslehre von J. Langenbucher. Augsburg 1788. Jos. Webers Theorie der Elektricität u. s. w. Salzburg 1785. Lampadius Versuche und Beobachtungen über die Elektricität und Wärme der Atmosphäre. Berlin 1793. 8. Kühn Neueste Entdeckungen in der physicalischen und medicinischen El. Leipzig 1796. 2 vol. 8. Beiträge zur theoretischen und praktischen Elektricitätslehre von G. C. Bohnenberger. Stuttgard 1793 Beschreibung einiger Elektrisirmaschinen und elektr. Versuche von G. C. Bohnenberger. Stuttgard 1790. Vollständige Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der Elektricität von T. Cavallo, aus dem Englischen üb. Leipzig 1797 2 vol. 8. Jos. Gardini's Abhandlung von der Natur des el. Feuers, übers. von Geisler. Dresden 1793. v. Arnim's Versuch einer Theorie der elektrischen Erscheinungen. Halle 1799. Vollständige, auf Versuche und Vernunftschlüsse gegründete Theorie der Elektricität von J. A. Heidmann. Wien 1799. 2 vol. 8. Darstellung der gesammten Elektricitätslehre von Fr. Saxtorph Copenhagen 1803. Darstellung der Theorie der Elektricität u. d. Magnetismus von Hauy, übers. von Murhard. Altenburg 1801. Das elektrische System der Körper, ein Versuch von J. W. Ritter. Leipz

D) Magnetismus.

§. 182.

Unter Magnetismus versteht man im Allgemeinen eine gewisse Classe von Erscheinungen und deren physische Ursache, wonach hauptsächlich Stahl und Eisen sich wechselseitig anziehen, abstoſsen und unter geeigneten Bedingungen eine gewisse Richtung nach den Weltgegenden annehmen. Ohngeachtet der groſsen Menge und Einfachheit der hierunter gehörigen Erscheinungen muſste die physische Ursache derselben vorzugsweise dunkel bleiben, weil sich keine Wechselwirkung zwischen dieser und den übrigen in der Natur thätigen Potenzen auffinden lieſs, und auſser dem Eisen und Stahle nur noch Nickel und Kobalt gegen

---

1805. Darstellung der Lehre der Elektricität, des Galvanismus und Magnetismus von T. Gavallo, aus dem Englischen übersetzt. Erfurt 1806. Grundsätze der Elektricitätslehre zur Bestätigung der Franklin'schen Theorie von J. B. Van-Mons übers. von Wurzer. Marburg 1812. Beiträge zur Erweiterung und Vervollkommnung der Elektricitätslehre von Meingosus Gälle. Salzburg 1813 und 16. 2 vol. 8. Grundriſs der Elektrochemie von W. A. Lampadius. Freyberg 1817. Elemente der Elektricität und Elektrochemie von G. J. Singer, aus dem Englischen übers. und mit Anmerkungen von C. H. Müller. Breslau 1819. (Durch die Anmerkungen das vollständigste über diesen Gegenstand). J. B. Trommsdorf Geschichte des Galvanismus oder der galvanischen El. Erf. 1808. (Seiner Chemie 5r Bd. ebend. 1803). Aloys Galvani Abhandlung über die Kräfte der thierischen El. u. s. w. herausgegeben von D. Joh Mayer. Prag 1793. Alex. Volta's Schriften über die thierische El. aus dem Ital. übers. Herausgegeben von D. J. Mayer. Prag 1793. Forts. 1796. C. H. Pfaff über thier. Elektricität und Reitzbarkeit. Leipzig 1795. F. A. Humboldt Versuche über die gereitzte Muskel- und Nervenfaser u. s w. 1797—99. 2 vol. 8. Beiträge zur näheren Kenntniſs des Galvanismus von J. W. Ritter. Jena 1800. 2 vol. 8. Der Galvanismus, eine Zeitschrift von Weber. 4 Hefte. Landshut 1802—3. Volta's neueste Versuche über den Galvanismus u. s. w. Wien 1803. W. Pfaff Uebersicht über den Voltaismus und die wichtigsten Sätze zur Begründung einer Theorie desselben. Stuttg. 1804. Das Wichtigste ist in den einzelnen Abhandlungen in den Zeitschriften von Gren, Gilbert, Gehlen und Schweigger, desgleichen in den ausländischen enthalten. Vorzüglich aber hat Pfaff sehr vollständige und gründliche Abhandlungen über die Elektricität und den Galvanismus in III und IV Bde. des Gehler'schen Wörterbuches geliefert.

dieselbe empfindlich waren. Erst in den neuesten Zeiten ist sowohl die Summe der Erfahrungen bedeutend vermehrt, als auch die nahe Verbindung aufgefunden, in welcher der Magnetismus mit den übrigen unwägbaren Stoffen steht, und die allgemeine Verbreitung desselben nachgewiesen. Die gesammten magnetischen Erscheinungen lassen sich zur Erleichterung der Uebersicht am besten unter vier Classen ordnen, welche zwar sämmtlich einem einzigen wirksamen Agens zugehören, in ihren Eigenthümlichkeiten aber einen merklichen Unterschied zeigen.

Unter allen den physikalischen Gesetzen zum Grunde liegenden Erfahrungen waren die über das magnetische Verhalten der Körper zwar die einfachsten und am leichtesten aufzufassen, aber eben in dieser Einfachheit und Absonderung von den übrigen Phänomenen lag ein unübersteigliches Hindernifs, das eigentliche wirksame Agens näher kennen zu lernen. Der Magnetismus, welcher früher dem Eisen, Nickel und Kobalt ausschliefslich angehörend erschien, ist später als allgemein verbreitete Potenz erkannt, welche fast in allen Körpern entweder als bleibender oder als vorübergehender Zustand hervorgerufen wird. Die 4 Classen, unter welche die sämmtlichen magnetischen Erscheinungen geordnet werden können, beziehen sich auf zwei bleibende und zwei vorübergehende, dem Wesen nach zusammengehörige, in ihrer Eigenthümlichkeit aber verschiedene magnetische Zustände der Körper, worunter das, was früher schon bekannt war, unter das Vorzüglichste gehört.

1) Magnetismus des Eisenerzes und Stahles.

§. 183.

Der gröfste Theil des in der Erde gefundenen Eisen-Erzes, nachdem es einige Zeit in einzelnen Stücken mit der Luft in Berührung gewesen ist, hat die Eigenschaft, das Eisen anzuziehen, und bei freier Bewegung eine gewisse Lage gegen die Weltgegenden anzunehmen. Beide Kräfte sind dem Magnete eigenthümlich zugehörend, und bezeichnen das Wesen desselben.

Die erstere, welche man vorzugsweise mit dem Worte *Magnetismus* bezeichnet, äufsert sich hauptsächlich gegen Eisen und eisenhaltige Substanzen, und durchdringt alle übrige Körper; die leztere, gleichfalls unter dem Ausdrucke Magnetismus begriffen, nennt man einzeln für sich *Polarität*, weil die Axe eines jeden frei schwebenden Magnetes der Axe der Erde nahe parallel läuft, so dafs die Pole desselben eine den Polen der Erde correspondirende Richtung haben. Man legt daher den Magneten zwei Pole, einen Nordpol und einen Südpol bei.

Als natürliche Magnete erscheinen vorzugsweise die sehr allgemein, vorzüglich in den nördlichen Theilen der Erde, Norwegen, Sibirien und auf der Insel Elba sich findenden Stücke des braunschwarzen Magnet-Eisensteins. Dieses magnetische Eisenerz ist in einigen der genannten Gegenden in solcher Menge vorhanden, dafs es ganze Berge bildet, und als ein Magnet im Ganzen gedacht von erstaunender Wirkung seyn müfste. Allein nach zahlreichen Beobachtungen [1]) ist dasselbe am Orte seiner Lagerung nicht magnetisch, sondern die einzelnen, zu Tage geförderten kleineren Stücke nehmen diese Eigenschaft erst an, entweder indem sich der Magnetismus in ihnen durch sich selbst entwickelt, oder durch den Einflufs des tellurischen Magnetismus §. 187 hervorgerufen wird. Die hiernach vorhandenen natürlichen Magnete, oder Stücke solchen Magnetkieses sind in kleineren und gröfseren Exemplaren vorhanden; das gröfste von mir gesehene wog 83 ℔. und zog kleine Schlüssel schon in einer Entfernung von 3 bis 4 Zollen an. Kleinere Bruchstücke finden sich auch in andern Gesteinen eingesprengt, und ertheilen ihnen dadurch die magnetische Kraft, z. B. im Granit des Brockens und der Lüneburger Heide [2]), in dem Pfälzischen Serpentinsteine nach von Humboldt [3]) und sonst noch verschiedentlich.

Die magnetische Anziehung durchdringt alle Körper, z. B. Holz, Glas, Wasser, Messing u. s. w. Nach eigenen

---

[1]) S. v. Leonhard Handbuch der Oryktognosie. Heidelb. 1826. p. 83.

[2]) S. Hannöv. Mag. 1802. Mon. Jul. Gilb. Ann. V. 376. Jordan ebend. XXVI. 256.

[3]) Gren J. IV. 136. u. Zimmermann in Gilb. Ann. XXIX. 483.

beiläufigen Versuchen wurden die Schwingungszahlen einer Nadel in gleichen Zeiten nicht vermindert durch eine lothrecht vor die Spitze gehaltene 1zöllige Platte Marmor, 0,75-zöll. Scheibe Holz, 0,5zöllige Lage Papier, 1 Lin. dicke Platte Kupfer, Zink, Messing, Zinn und Blei. Eine 0,5 Lin. dicke Scheibe Eisen verminderte die Schwingungen von 58 auf 31.

Angezogen wird durch den Magnet zunächst und ohne Rücksicht auf die in der Folge näher zu bestimmenden Modificationen bloſs Eisen, Nickel und Kobalt, und wenn derselbe auch andere Körper anzieht, so ist dieses, jedoch gleichfalls nur in Beziehung auf die hier zunächst vorliegende Untersuchung, ein Zeichen eines vorhandenen Antheils von Eisen in denselben, z. B. bei Bolus, Blutstein, Röthel, Tripel, Wasserblei, gefeiltem Zink, rohen Platin (Hausmanns Polyxen), einigen Edelsteinen u. s. w. Magnesium, Uran, Titan und Chrom sollten nach Ritter [1]) an sich vom Magnete angezogen werden, allein genauere Untersuchungen haben gezeigt, daſs sie diese Eigenschaft dem beigemengten Eisen verdanken [2]). Ueber das reine Magnesium als unmagnetisch entscheidet Thomson [3]). Ueber Chrom ist derselbe unentschieden [4]). Nach sehr feinen Versuchen glaubte Coulomb gefunden zu haben, daſs alle Körper der magnetischen Anziehung unterworfen wären, aber fortgesetzte Untersuchungen zeigten ihm, daſs die Erscheinung auf der Anwesenheit einer unmerklichen Quantität Eisen beruhe. Er will hierdurch $\frac{1}{132800}$ Eisen in feinem Silber gefunden haben [5]).

Coulomb war ein so genauer Beobachter, daſs man geneigt seyn muſs, die durch ihn erhaltenen Resultate unbedingt anzunehmen. Ein groſser Theil früher beobachteter Erscheinungen, wonach starke Magnete auf alle Körper auch ohne Anwesenheit der geringsten Spuren von Eisen einen Einfluſs äuſsern sollten, zeigten sich später als unrichtig, indem man die Ursache in den unmerklichen Theilen des Eisens auffand, welche durch die Bearbeitung derselben

1) Gehlen J. d. Chem. IV. 1 ff.

2) Wollaston in Phil. Trans. 1823. T. II. 400.

3) System der Chem. franz. Ueb. I. 458.

4) S. ebendas. I. p. 614.

5) S. J. de Phys. LIV. p. 364. Biot Traité III. 117. Hauy Traité de Physique. 3me ed. T. II. p. 133.

mit eisernen Instrumenten sich auf denselben abgesetzt hatten. Inzwischen sind neuerdings viele Thatsachen bekannt geworden, aus denen ein gewisser Einfluſs der Magnete auf eisenfreie Körper, und dieser auf jene hervorgeht §. 193. Beobachtungen, wonach die magnetische Anziehung alle Körper afficirt, sind namentlich ältere von Brugmann [1]), neuere von Becquerel [2]), von Baillif [3]) mit dem von Becquerel erfundenen *Sideroskop*, von Saigey [4]) und andern. Da es übrigens gegenwärtig ausgemacht ist, daſs die elektrischen Strömungen in allen Körpern, durch welche sie gehen, den Magnetismus hervorrufen, erstere aber durch so vielfache Ursachen erzeugt werden, so muſs hiernach die Bestimmung, ob ein gegebener Körper an sich magnetisch sey, groſse Schwierigkeiten haben. Im Ganzen wird indeſs für die Theorie des Magnetismus durch sichere Beantwortung dieser Frage nicht viel gewonnen, wie aus den späteren Untersuchungen hierüber §. 199 hervorgeht.

Die Polarität eines jeden natürlichen Magnetes erkennt man sogleich, wenn man ihn mit Eisenfeilicht bestreuet und die Stellen aufsucht, wo dasselbe am stärksten angezogen wird. Jeder Magnet hat mindestens zwei Pole, manche anomale aber haben mehrere, und scheinen aus verschiedenen kleineren, durch unmagnetische Fossilien getrennten, Magneten zu bestehen. Wird ein Magnet an einem Faden aufgehangen, so nehmen seine Pole ohngefähr die Richtung der Weltpole an, und der magnetische Meridian läuft dem astronomischen nahe parallel. S. §. 190.

§. 184.

Die beiden sich kenntlich machenden Pole ziehen einzeln das Eisen an, gegeneinander aber zeigen sie gegenseitige Anziehung der ungleichnamigen und Zurückstoſsung der gleichnamigen Pole. In der Berührung mit Eisen erzeugen sie in diesem, so wie auch im Nickel und Kobalt, gleichfalls magnetische Kraft,

---

[1]) Magnetismus seu de affinitatibus magn. observ. magneticae L. B. 1778. §. 41.

[2]) Ann. Chim. et Phys. XXV. p. 269.

[3]) Ferrussac Bullet. de Sc. math. phys. 1827. N. 7. p. 87.

[4]) Ebend. 1828. Fevr. p. 89.

welche sich im Stahl bleibend erhält, und noch außerdem durch vielfache Modificationen in demselben hervorgerufen wird. Sowohl bei den hierdurch entstandenen künstlichen, als auch den natürlichen Polen heben sich die gegenseitigen Anziehungen nicht auf, sondern sie verstärken sich wechselseitig, und bilden durch zwischen ihnen befindliches Eisen den geschlossenen magnetischen Kreis.

Wegen der leicht kenntlichen Eigenschaft der gegenseitigen Anziehung heifsen die beiden Pole auch *amici* und *inimici*, gleichnamige und ungleichnamige. Man benutzt dieselbe zu allerlei Spielereien, z. B. magnetische Fische, Würfel, Wahrsagung u. a. m.

Die Hervorrufung des Magnetismus im Eisen wird sogleich kenntlich durch die Art des Aneinanderhängens des Eisenfeilicht an einem Magnete, indem jedes einzelne Stückchen dieses Eisens sofort zu einem kleinen Magnete mit zwei ungleichnamigen Polen gebildet wird. Genähertes Eisen erhält nämlich da, wo es den einen Pol berührt, die ungleichnamige, am entgegengesetzten Ende aber die gleichnamige Polarität durch Vertheilung, worin also der Magnetismus mit der Elektricität übereinsimmt.

Viel stärker wird der Magnetismus hervorgerufen durch Bestreichen des Eisens mit schon gebildeten Magneten, wobei man den Einfachen und Doppelstrich unterscheidet, er-
Fig. 216] steren indem man den Hufeisenförmigen Magnet A mit beiden Schenkeln auf den zu magnetisirenden Stahlstab ab in die Mitte aufsetzt, nach beiden Seiten a und b abwechselnd hin und her führt, zuletzt wieder in die Mitte zu-
Fig. 217] rückbringt, und weghebt; lezteren indem man die beiden Magnete A und B mit ihren freundschaftlichen Polen in Berührung bringt, die andern beiden auf die Mitte des zu magnetisirenden Stabes ab setzt und ohne Trennung der oberen nach den Enden hinführt, dort eine kurze Zeit anhält, dann sie über diese Enden hinführt und wieder vereinigt, um abermals zu streichen. Man kann übrigens jedes Ende mit dem freundschaftlichen Pole eines Magnetes allein streichen, oder den Stab über diesen Pol hinziehen, allezeit von der Mitte aus anfangend, wobei allgemein die Stärke des erzeugten Magnetismus mehr von der Stärke des angewandten Magnetes als der nur geringeren Einfluſs äuſsernden Art des Streichens abhängt. Die Wirkung wird

sehr verstärkt, wenn man die Enden des zu magnetisirenden Eisens mit den Polen starker Magnete in Berührung bringt und dann streicht. Wechselt man bei diesem Verfahren mit mehreren Magneten ab, so kann man dieselben bedeutend verstärken. In wiefern hierbei nach Brugmann der *Indifferenzpunct* und nach van Swinden der *culminirende Punct* entstehen müsse, ergiebt sich leicht.
Fig 218] Wird nämlich der Stab ab gestrichen, und hierdurch an a + und an b — Magnetismus erzeugt, so nehmen beide von diesen Enden an stets ab, woraus von selbst folgt, daſs in der Mitte magnetische Indifferenz entstehen muſs. Setzt man aber auf a einen starken Magnet mit dem + Pole, so wird daselbst der — Pol und in b der + Pol erzeugt. Führt man jenen Pol langsam von a nach b, und hält ihn dort fest, so entsteht daselbst der — Pol, mithin in a der + Pol. Indem hiernach die Pole umgekehrt werden, so muſs es irgend einen Punct zwischen a und b geben, in welchem der auf die angegebene Weise fortgeführte Pol diese Wirkung eben erst hervorzubringen anfängt, also die Umkehrung gerade beginnen will. In diesem Augenblicke muſs Indifferentismus beider Pole stattfinden, und der Punct, in welchem dieses geschieht, heiſst dann der culminirende Punct.

Weiches Eisen nimmt den Magnetismus leicht an, verliert ihn aber bald wieder. Gehärteter Stahl nimmt ihn schwerer an, behält ihn dann aber länger. Man hält hierbei diejenige Härtung, wenn er bis zur Strohgelben oder blauen Farbe wieder angelassen ist, für die beste. Welcher Grad und welche Art der Härtung für alle einzelne Fälle am vortheilhaftesten sey, desgleichen wie weit der bedingende Einfluſs der verschiedenen Beschaffenheit des Stahls sich erstrecke, ist noch nicht völlig ausgemittelt. Hinsichtlich des ersteren hat Coulomb durch genaue Versuche gefunden, daſs für solche Magnetstäbe, deren Länge mindestens das Dreiſsigfache der Dicke ausmacht, die Härtung bei Dunkelroth am vortheilhaftesten ist, bei einem geringeren Verhältnisse aber die glasharte den Vorzug verdient [1]). Nach Kater [2]) ist für Compaſsnadeln Uhrfeder-Stahl am besten, und als Form die eines durchbrochenen Rhombus von 5 Z. Länge auf 2 Z. Breite am vortheilhaftesten. Diese

[1]) Mém. de l'Inst VI. 399. Vergl. Biot Traité III. 112.
[2]) Phil. Trans. 1821. I. p. 128. Vergl. Brisson Mém. de l'Acad. 1788. p. 173.

Form hat übrigens schon Brander nach einem in München vorhandenen Exemplare in Anwendung gebracht. Die Härtung geschieht am besten durch Rothglühen und nachheriges Anlassen bis zum Verschwinden des blauen, wobei die Spitzen, etwa 1 Z. lang, hart bleiben müssen. Das Streichen soll am vortheilhaftesten mit zwei in der Mitte mit ihren freundschaftlichen Polen aufgesetzten Magnetstäben geschehen, deren andere Enden nach Aufsen divergirend gehalten werden, so dafs die streichenden Stäbe nur wenige Grade über dem gestrichenen erhoben sind. Man führt dann mit geringem Drucke die beiden aufgesetzten Enden in entgegengesetzter Richtung gleichzeitig genau über der Axe des gestrichenen Stabes nach seinen zwei Enden hin, über diese hinaus, und fängt dann wieder in der Mitte an.

Nach Hatchet ist es auffallend, dafs Kohlenstoff, Schwefel und Phosphor, drei Combustibilien, das Eisen zum längeren Festhalten des Magnetismus disponiren [1]. Indefs kommt diese Wirkung doch vorzugsweise nur dem Kohlenstoff zu. Aufser dem Eisen wird auch Nickel und Kobalt magnetisch. Von ersterem erhielt Biot eine Magnetnadel, deren Stärke sich zu einer stählernen wie 0,3088 : 1 verhielt [2].

Das Eisen ist selten ganz unmagnetisch und nimmt überhaupt diese Disposition leicht in einem beträchtlichen Grade an. Vorzüglich geschieht dieses durch langes lothrechtes Stehen, weswegen Blitzableiter, eiserne Geländer, Stackete u. s. w. meistens magnetisch sind. Auch die eisernen Waagebalken der Probirwaagen sollen durch den Magnetismus unrichtig werden nach Studer [3]. Noch wirksamer ist, wenn dasselbe in verticaler Lage, oder in der Richtung der Inklinationsnadel S. §. 191 mit einem Hammer geschlagen, mit Eisen gestrichen oder gegen den Boden gestofsen wird [4]. Ueberhaupt wird die Wirkung durch Bohren und Schneiden mit demselben, durch Ablöschen, Biegen und Zerbrechen desselben hervorgebracht [5], welches übrigens, namentlich beim Eisen, und daher auch wahrscheinlich beim Stahle

---

1) S. Gilb. Ann. XXV. 58.

2) S. Biot Traité III. 126. Vergl. Gilb. Ann. XI. 371.

3) Gilb Ann. XIII. 125.

4) S. Scoresby in Edinb. Phil. Trans. 1821. Phil. Trans. 1822. Tom. II. p. 241. Gilb. Ann. LXVIII. p. 161.

5) Vergl. Gregory Haushaltung der Natur. T. I. p. 50.

eine Folge der Einwirkung des tellurischen Magnetismus ist. §. 187.

Merkwürdig ist die Erregung des Magnetismus im Stahle durch violette Strahlen des Farbenbildes. Morichini entdeckte dieses zuerst, dafs eine nicht magnetische Stahlnadel durch die vermittelst einer Linse concentrirten violetten Lichtstrahlen schnell und stark magnetisch wird. Diese Erscheinung, welche er oft und in Gegenwart verschiedener Fremder wiederholte, wurde anderweitig, namentlich durch Configliachi bestritten [1], ist aber neuerdings durch wiederholte Versuche der Lady Sommerville aufser Zweifel gesetzt [2].

Um die Kraft der natürlichen Magnete zu verstärken, schleift man ihre Pole eben, belegt sie mit flachen, in dicke Enden auslaufenden Stücken Eisen, und bindet diese fest. Man nennt sie dann *armirt* oder *gepanzert*. Verbindet man die hervorragenden flachgeschliffenen Füfse dieser Armirung mit einem in seiner Länge zugeschärften Stücke Eisen, so dafs die stumpf zulaufende Schneide die flachen Füfse berührt, so heifst dieses der *Anker*, und ein an denselben angebrachter Haken dient dazu, den Magnet mit Gewichten zu beschweren. Durch die Armirung wird die Ziehkraft ausnehmend vermehrt, nach Mersenne um das 16 bis 40, ja bis zum 320 fachen der vorherigen Tragkraft. Gepanzerte Magnete tragen dann oft das 20 bis 30 fache ihres eigenen Gewichtes, und Cavallo berichtet einen kleinen Magnet von 7 gr. gesehen zu haben, welcher 300 gr. trug. Sind sie von 1 ℔ und darüber, so tragen sie selten mehr als das 10 fache ihres Totalgewichts. Der gröfste bekannte armirte Magnet im Teylerschen Museo wiegt mit Armatur 307 ℔ und trägt 230 ℔ [3].

Werden stählerne Nadeln, Stäbe, Ringe, oder Hufeisen (welche Form vorzuziehen ist, weil dadurch beide Pole einander näher kommen) mit einem natürlichen, oder besser mit einem armirten oder einem künstlichen Magnete auf die angegebene Weise gestrichen, so nehmen sie den Magnetismus an. Merkwürdig ist dabei, dafs die magnetische Kraft sich an den Enden aufhäuft, von da an schnell abnimmt,

---

[1]) Journ. de Phys. LXXXV. p. 323. Gill. Ann. XLIII p. 212. Schweigg. Journ. VI. p. 327. XX. p. 10.

[2]) Edinb. Journ. of Science VIII. p. 328.

[3]) S. Parrot Handbuch der Phys. II. 602.

und nach der Mitte zu ganz verschwindet [1]. Man legt dann zwei Stäbe nebeneinander und verbindet ihre freundschaftlichen Pole durch Eisen, oder man verbindet drei Magnetstäbe zu einem Dreieck. Mehrere Magnetstäbe mit ihren gleichnamigen Polen aufeinander geschichtet und verbunden geben mächtig wirkende magnetische Batterieen. Die stärkste der Art ist die von Knight verfertigte, welche Dr. Fothergill der Societät schenkte. Sie kehrte die Pole nicht bloſs der besten Magnetnadeln, sondern selbst natürlicher Magnete um [2].

Bringt man zwei Magnete mit den ungleichnamigen Polen zusammen, so tragen sie so viel, als die vereinte Summe ihrer Tragkraft beträgt. Auch wenn man unter ein zu hebendes Stück Eisen eine Platte Eisen bringt, wird die Tragkraft des Magnetes vermehrt, weswegen man von einem eisernen Ambos mehr Eisen durch einen Magnet aufziehen kann, als von einem Tische. Noch mehr wird die Tragkraft vermehrt, wenn man unter das zu hebende Stück Eisen den freundschaftlichen Pol eines andern Magnetes hält. Die gröſste Stärke, wozu nach eigenen Beobachtungen unter gewöhnlichen Bedingungen die Ziehkraft künstlicher Magnete gebracht werden kann, ist das Siebenfache ihres eigenen Gewichtes, jedoch lassen sich vorzüglich gute Hufeisenmagnete bis zur Tragkraft ihres 20 fachen Gewichtes steigern.

Die eigenthümlichen Schwingungen eines mit einer eisernen Kugel versehenen, 3 Fuſs langen Pendels über einem starken Hufeisen-Magnete, welche P. Heinrich [3] beobachtet hat, verdienen Wiederholung und nähere Untersuchung.

§. 185.

Fast die sämmtlichen Mittel, welche den Magnetismus im Stahle hervorrufen, sind auch fähig denselben namentlich durch Umkehrung der Pole wieder zu zerstören. Auf solche Weise werden dann nicht bloſs künstliche Stahlmagnete, sondern selbst auch Magnetkiese unmagnetisch. Auſerdem geschieht dieses durch

[1]) S. Biot Traité III. 63.
[2]) S. Phil. Trans. LXV. und LXIX. p. 51.
[3]) S. Gehlen J. V. p. 571.

solche Einwirkungen, welche den regulinischen Zustand des Stahles aufheben, und hauptsächlich durch starke Hitze.

Bringt man einen schwächeren Magnet mit gleichnamigem Pole an einen ungleich stärkeren, so wird der erstere nicht abgestofsen, sondern überwältigt und angezogen. Allmälig, in einer der Stärke des wirkenden Magnetes umgekehrt proportionalen Zeit wird die Polarität gänzlich zerstört, und geht durch längere Einwirkung in die entgegengesetzte über. Abraham [1]) gründet hierauf das Verfahren, feinen Stahlstäben den Magnetismus zu nehmen, indem er sie mit feinem Eisenfeilicht sich überziehen läfst, und einen entgegengesetzten Pol eines starken Magnetes nähert, bis dieses abfällt.

Andere Mittel, den Magnetismus zu schwächen oder gänzlich zu zerstören, sind langes Liegen ohne Eisen anzuziehen, Rosten, Schlagen, Stofsen, Biegen und der Einflufs starker Flaschenschläge. Vorzüglich schwächt die Wärme den Magnetismus, indem nach eigenen wiederholten Beobachtungen im maximo belastete Magnete unter dem Einflusse natürlicher Wärme in Trockenstuben und auf Speichern, welche durch die Sonne stark erhitzt werden, bei 40° bis 50°C. ihre Gewichte fallen lassen. Coulomb bemerkte eine Abnahme bei gleicher Temperatur, welche bei höheren Graden der Temperatur stark zunahm [2]). Zur Bestimmung der Stärke des Magnetismus an den verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten ist es daher wichtig, den Einflufs der Temperatur auf dieselbe genauer zu kennen, weswegen dieser Gegenstand durch S. H. Christie [3]) näher untersucht ist. Das Glühen hebt den Magnetismus ganz auf, denn nach den neuesten Untersuchungen von Barlow [4]) wirkt weifsglühendes Eisen nicht einmal attractorisch auf den Magnet; zwischen Rothglühen und Blutrothglühen ist aber seine Polarität derjenigen entgegensetzt, welche es unter der lezteren Temperatur annimmt. Auch grofse Kälte schwächt die magnetische Kraft, wie namentlich an Compafsnapeln beobachtet ist. §. 190.

---

1) Phil. Mag. and Ann. of Phil. I. 470.
2) S. Biot Traité III. 106.
3) Phil. Trans. 1825 I. p 1 ff.
4) S. Phil. Trans. 1822. I. p. 117.

§. 186.

Die Kraft der magnetischen Anziehung ist dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional.

Dafs die magnetische Kraft mit der Näherung wächst, erkennt man bald, wenn man den Anker mit den Schenkeln ohne hörbares Anschlagen in Berührung zu bringen sucht, welches bei kleineren Magneten schwer, bei grofsen und sehr starken unmöglich ist. Musschenbroek fand das angegebene Gesetz bestätigt, indem er einen Magnet auf einem Tische befestigte, und Gewichte durch die Anziehung überwältigen liefs. Er fand

Entfernung in Zollen	6;	5;	4;	3;	2;	1;	0.
Gewichte in Granen	3;	3,5;	4,5;	6;	9;	18;	57.

Ein eigenes für solche Messungeu bestimmtes *Magnetometer* beschreibt de Saussure [1]), inzwischen giebt es näher liegende Mittel zur Erreichung dieses Zweckes. Sehr zahlreiche und zugleich höchst genaue Versuche hat Coulomb mit seiner Drehwaage angestellt, und damit das Gesetz durchaus bestätigt gefunden, auch näherte er magnetisirten Nadeln den freundschaftlichen Pol, und zählte die Schwingungen, welche dieselben in gleichen Zeiten machten [2]), wodurch auf gleiche Weise als durch die Versuche anderer Physiker die vorliegende Frage bestimmt entschieden wurde.

2) Tellurischer Magnetismus.

§. 187.

Bei der Untersuchung des Verhaltens zweier Magnete gegen einander ergiebt sich bald das allgemeine Gesetz, dafs die gleichartigen Pole einander abstofsen, die ungleichartigen einander anziehen. Jeder freischwebende Magnetstab zwischen den ungleichen Polen zweier starker Magnete wird sich mit seiner Axe in einer jene verbindenden Linie einstellen. Indem aber die Magnete gegen alle übrige Körper, aufser Magnete und die oben genannten drei Metalle, indifferent sind, die lezteren

1) S. Reise in die Alpen II. 126.

2) S. Mém. de l'Acad. 1785 ff. Vergl. Gren n. Journ. II. 298.

aber auf beide Pole gleichmäfsig wirken, die natürlichen und künstlichen Magnete aber über der Oberfläche der Erde stets eine bestimmte Richtung annehmen, so müssen zwei diese Wirkung erzeugende magnetische Pole der Erde selbst beigelegt werden. Hiernach ist die Erde als ein Magnet zu betrachten, und weil dieses schon in den frühesten Zeiten geschah, so sind von der Erde die beim Magnete üblichen Bezeichnungen entnommen.

Dafs die Erde ein natürlicher Magnet mit zwei oder mehreren Polen seyn müsse, ergiebt sich aus der constanten Richtung der Magnetnadeln. Man bildet aufserdem die Erde in künstlichen Terrellen aus Magneteisenstein mit zwei Polen nach, über denen kleine Magnetnadeln ein ähnliches Verhalten zeigen, als die gewöhnlichen Nadeln auf der Oberfläche der Erde. Aufserdem aber hat man die magnetischen Pole der Erde vermittelst der Beobachtungen der Deklinations- und Inklinationsnadeln wirklich aufgefunden. §. 192.

Insofern bei den Magneten die ungleichnamigen Pole einander anziehen, die gleichnamigen aber abstofsen, mufs im Norden der Erde der entgegengesetzte Pol desjenigen vorhanden seyn, welcher bei den magnetisirten Stahlnadeln dahin gerichtet ist. Indem aber dasjenige Ende der lezteren, welches nach Norden gerichtet ist, Nordpol genannt wird, so müfste im Norden der Erde ein natürlicher Südpol existiren und so umgekehrt. Diese Annahme hat allerdings etwas Widersprechendes, und es ist daher keineswegs unnatürlich, dafs man in Frankreich diese Benennung umgekehrt, und den nach Norden gerichteten Pol der Nadeln Südpol genannt hat; allein da die entgegengesetzte Bezeichnung namentlich bei den Seefahrern einmal üblich ist, welche ihren Sprachgebrauch nicht wohl ändern werden, so ist es am besten, diesen beizubehalten.

§. 188.

Die Erde äufsert sich überall als ein grofser zweipoliger Magnet mit einem Südpole im Norden und einem Nordpole im Süden, und man bezeichnet diese Wirkung allgemein mit dem Ausdrucke des *tellurischen Magne-*

tismus. Zunächst zeigt sich derselbe durch seinen Einfluſs auf das Eisen.

Die Wirkungen der Erde als eines bipolaren Magnetes zeigen sich überall. Die magnetischen Erdpole fallen indeſs nicht mit den astronomischen zusammen, und wenn man sich dann im Norden oder im Süden unmittelbar über einem solchen oder sehr nahe dabei befindet, so muſs man aus dessen Lage schlieſsen, daſs es auſserdem noch einen oder mehrere andere solche geben könne, wie die Erfahrung gleichfalls bestätigt.

Eine der wichtigsten Wirkungen des tellurischen Magnetismus ist die Magnetisirung des Eisens. Völlig reines weiches Eisen ist nämlich an sich nicht magnetisch, sondern erhält in jeder Lage diejenige Polarität, welche durch den Einfluſs des tellurischen Magnetismus in ihm hervorgerufen wird. Hat dasselbe indeſs einigen Kohlenstoff beigemischt, so läſst es sich mit Mühe künstlich unmagnetisch machen. Zu diesem Ende wird die Eisenstange auf einem erdenen oder steinernen Herde mit Entfernung aller eisernen Werkzeuge über Kohlen in der Richtung von West nach Ost, oder eigentlicher den magnetischen Meridian lothrecht durchschneidend, ausgeglühet, und muſs in dieser Lage allmälig erkalten, auch darf sie nicht geschlagen, gebogen, geschliffen, noch weniger mit eisernen oder stählernen Werkzeugen berührt werden. Bringt man dieselbe alsdann in die Richtung der Inklinationsnadel §. 191, so hat sie unten einen Nordpol, oben einen Südpol; wendet man sie aber um, so verwandeln sich in diesem Momente die Pole in die entgegengesetzten; bringt man sie aber wieder in die Lage, daſs sie mit dem magnetischen Meridiane zwei rechte Winkel bildet, so ist sie ohne Polarität. Ganz weiches Eisen ist also an sich nicht magnetisch, wird dieses aber durch den Einfluſs des tellurischen Magnetismus, die Einwirkung künstlicher Magnete auf dasselbe nicht gerechnet. Aus diesem durch Barlow, Schmidt, Scoresby und andere entdeckten Verhalten des weichen reinen Eisens erklären sich verschiedene Erscheinungen seiner Einwirkung auf die Magnetnadel [1], und v. Yelin hat hierauf ein sinnreich construirtes Inklinatorium gegründet [2]. Was übrigens oben über die im Allgemeinen stattfindende

---

[1]) Gilb. Ann. LXXIV. p. 225 ff.

[2]) S. Gehler Wörterb. T. V. Art. Inklin.

Polarität des Eisens und Stahls gesagt ist, steht hiermit durchaus nicht im Widerspruche, denn das Eisen ist selten ganz rein, und dafs alle Sorten Stahl in der Form von Stangen mehr oder minder magnetisch polarisch seyn müssen, dafs es also schwerlich überhaupt oder mindestens höchst selten ganz unmagnetischen Stahl giebt, folgt hieraus vielmehr von selbst.

§. 189.

Magnetisirte Stahlstäbe müssen durch die in ihnen hervorgebrachte magnetische Kraft auf gleiche Weise in den magnetischen Meridian gezogen werden, als die natürlichen Magnete. Werden dieselben frei in einer horizontalen Ebene schwebend aufgehangen, so dienen sie dazu, theils durch ihre leichte Beweglichkeit die Anwesenheit kleiner Spuren des vorhandenen Magnetismus zu prüfen, theils die Richtung des magnetischen Meridians genau zu bestimmen, theils endlich die Kraft, womit sie in den magnetischen Meridian gezogen werden, durch die Anzahl der Schwingungen in einer gegebenen Zeit zu messen.

Hätten die künstlichen Magnete diese den natürlichen eigenthümliche Polarität nicht, so würde dadurch ein Unterschied zwischen dem natürlichen Magnetismus des Magneteisensteins begründet werden, welcher aber nicht existirt.

Um dieselben leicht beweglich zu machen kann man sie auf Quecksilber schwimmen lassen, welches jedoch zu vielen Widerstand entgegensetzt, oder vermittelst eines Korkes oder eines sonstigen Schwimmers auf Wasser. Ganz feine hing Bennet an einem Faden der Kreuzspinne auf, welcher nach seinen Versuchen so geringen Widerstand durch Drehung erleidet, dafs derselbe durch 18000 Drehungen noch nicht mefsbar wird [1]). Dieser Methode bedient man sich noch jezt, um die sehr empfindlichen, zum Messen der geringsten vorhandenen Spuren von Elektricität dienenden Nadeln zu erhalten. Weil nämlich, merkwürdig genug, die Stärke des Magnetismus nicht der Masse, sondern der Oberfläche des magnetisirten Stahles proportional ist, so schleift man aus Uhrfedern durch Zuspitzen der beiden

[1]) S. Phil. Trans. LXXXV. p. 81. Gren. Journ. d. Ph. VII. 355.

Fig. 219] Enden geformte Nadeln so dünn wie möglich, so dafs eine von 1 Lin. Breite und 2 bis 3 Z. Länge nicht mehr als zwei bis 3 Gran wiegt, durchbohrt sie in der Mitte, bringt daselbst ein ganz feines messingnes Häckchen α an, hängt in dieses ein kurzes Seidenfädchen und klebt hieran mit etwas Wachs oder Gummi den Spinnefaden, dessen anderes Ende an den Draht β befestigt wird, um vermittelst dessen die Nadel zu erhöhen oder herabzulassen, und stellt die das Ganze einschliefsende Campane auf den hölzernen Ring ab.

Will man zugleich die Stärke der magnetischen Repulsion bestimmen, so hängt man gröfsere Nadeln an einem Silberfaden in die Coulomb'sche Drehwaage. Am gewöhnlichsten werden sie mit einem messingnen, mit einem Achat, Krystall oder sonstigen harten Steine versehenen Hütchen auf einer stählernen Spitze frei schwebend balancirt. Für viele Versuche ist es vortheilhaft, die dünnen Nadeln in der Mitte zu durchbohren, und das Hütchen in diese Oeffnung zu stecken, woraus der Vortheil entsteht, dafs sie umgelegt werden können, um die Richtung ihrer Axe und der magnetischen Mittagslinie zu vergleichen. Geschickte Künstler wissen durch eine genaue Lage des Schwerpunctes das unangenehme Beben derselben zu vermeiden. Schliefst man dieselben dann in eine Büchse mit einer Eintheilung des Kreises, welchen ihre Pole durchlaufen, so hat man die bekannte *Boussole*, oder den *Compafs*. Für viele Versuche hat indefs ein Achathütchen auf einer gehärteten Stahlspitze noch zu viele Reibung, und man hängt sie daher an einer für ihr Gewicht erforderlichen Menge blofs zusammengelegter ungezwirnter Seidenfäden auf.

Die Kraft des Magnetismus im Allgemeinen kannte man im höchsten Alterthume, die Erfindung der Boussole aber, und ihre Anwendung dazu, die Richtung der magnetischen Mittagslinie zu bestimmen, wird dem Flavio Gioja oder Giri aus Amalfi im Neapolitanischen im Anfange des 14ten Jahrh. zugeschrieben. Es giebt aber Gründe, zu vermuthen, dafs der Compas den Chinesen bekannt war, von dort zu den Arabern und so nach dem Occidente kam [1]. Nach Hager geht diese Kenntnifs bei den Chinesen bis 1100 Jahr v. Ch. G. zurück [2]. Daraus, dafs die magnetische

[1]) S. Geogr. Ephem. 1810. Apr p. 405.

[2]) S. Memoria sulla Bussola orientale u. s w. Paris 1810. 33 S. fol. Vergl. Hermbstädt Büllet. 1810. VI. I. p. 26. Eine weitläuftige Un-

Kraft sich an den Enden anhäuft, folgt, dafs die beste Form der Nadeln die eines länglichen Parallelopipedon ist, oder dafs sie gegen die Enden spitz zulaufen müssen. Eine Zunahme der Ausdehnung nach den Enden hin ist auf allen Fall verwerflich, wie auch Coulomb durch seine Erfahrungen bestätigt gefunden hat [1]). Man streicht dieselben am besten mit dem Doppelstrich, wobei es nicht unwesentlich ist dahin zu sehen, dafs die zum Streichen gewählten Magnete eine gleichmäfsige Richtung behalten, damit die Pole genau in die Spitzen zu liegen kommen und keine anomale erzeugt werden. Dennoch fällt die magnetische Axe nicht immer mit der geometrischen zusammen, weil es selbst bei einem angelegten Liniale kaum möglich ist, allezeit die nämliche Richtung der streichenden Magnete beizubehalten. Es dürfte daher rathsam seyn, entweder die Nadeln überhaupt zum Umlegen einzurichten, oder die Richtung der magnetischen Axe vorher genau zu bestimmen.

Der Kreis, welchen die Spitze der Magnetnadel durchläuft, wird auf verschiedene Weise eingetheilt. Will man die beständig gleichmäfsige Richtung derselben zum Messen der Winkel gebrauchen, so theilt man denselben in 360° und deren Theile, (Hänge-Compafs, Patentboussole); schlechthin bergmännisch in Stunden und Achtel derselben; für den Schiffs-Compafs, welcher aufserdem den Einflufs des Schwankens zu compensiren beweglich aufgehangen seyn mufs, wählt man die Windrose (Strich-Compafs, Azimuthal-Compafs).

Nach den angegebenen Gesetzen zeigt jede feine Magnetnadel durch die Anziehung das Vorhandenseyn des Eisens; daher ihre Anwendung in der Mineralogie. Ist das genäherte Eisen (oder Nickel und Kobalt) selbst polarisch, so mufs zugleich Anziehung und Abstofsung der ungleichen Pole stattfinden, wobei vorzüglich dahin zu sehen ist, dafs schwache Aeufserungen der Polarität mit sehr kleinen Nadeln gemessen werden, um jene nicht zu überwältigen und dadurch zu zernichten.

Die Richtung vollkommener Nadeln giebt den *magnetischen Meridian* richtig an. Brauchbare Apparate, um sowohl diesen und seine Abweichung vom geographischen

---

tersuchung über diejenigen, welche sich die Erfindung der Magnetnadel zueignen, mit den zahlreichsten literärischen Nachweisungen von Trombelli findet man in Comm. Soc. Bonon. T. II. P. III. p. 333. Von Collina ebend. p. 372.

1) S. Biot Traité III. 116.

(Deklination) genau zu bestimmen, als auch die täglichen, jährlichen und periodischen Veränderungen desselben zu beobachten *(Deklinatorien)*, verfertigte unter andern früher Brander [1]). Von vorzüglicher Feinheit ist Coulombs mikroskopische Boussole [2]). Für ein günstiges Locale giebt sehr grofse Genauigkeit Prony's Deklinatorium [3]) und Troughton's magnetisches Teleskop, eine stählerne magnetische Röhre mit Gläsern eines Fernrohrs [4]); beide übertrifft an Sicherheit, Feinheit und Genauigkeit das Deklinatorium, welches durch v. Horner [5]) vorgeschlagen und namentlich für das Cabinet in Dorpat ausgeführt ist.

Um vermittelst der Magnetnadel die Gröfse der magnetischen Kraft zu messen darf man nur berücksichtigen, dafs sie pendelartig um ihr Centrum schwingt, wobei die magnetische Anziehung die das gemeine Pendel bewegende Schwere ersetzt. Wenn man nun, als den leichtesten Fall, mit der nämlichen Nadel zu verschiedenen Zeiten oder an verschiedenen Orten die magnetische Kraft aus der verglichenen Zahl der Schwingungen bestimmen will, so folgt aus der Formel für Pendelschwingungen $t = \sqrt{\frac{2L}{g}}$ §. 34, dafs für zwei ungleiche magnetische Kräfte g und g′ das Verhältnifs $g : g' = \frac{1}{t'^2} : \frac{1}{t^2}$ ist, wonach die magnetische Kraft sich umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten verhält. Es ist aber für m und n Schwingungen $t = \frac{1}{m}$ und $t' = \frac{1}{n}$ mithin ist $\frac{g}{g'} = \frac{m^2}{n^2}$ oder die magnetische Kraft ist dem Quadrate der Schwingungsmengen in gleichen Zeiten proportional. Die magnetische Kraft ist übrigens nach Hansteen, welcher sich neuerdings um die Kenntnifs des tellurischen Magnetismus durch die ausführlichsten und gründlichsten Untersuchungen grofses Verdienst erworben hat [6]),

---

1) S. dessen Beschreibung eines magnetischen Declinatorii und Inclinatorii, nebst einer Anweisung, wie man sich dieser Instrumente bedienen soll. Augsburg 1799.

2) S. mém. de l'acad. 1785.

3) S. J. d. ph. XLIV. 474. Gilb. Ann. XXVI. 275.

4) Bibl. Brit. XXXVI. p. 277.

5) Gehler's Wörterb. Th. I. p. 135.

6) Das Hauptwerk desselben ist. Untersuchungen über den Magnetismus

an den nämlichen Orten nicht allezeit gleich, sondern regelmäfsig vom Januar bis Juli abnehmend, dann wieder zunehmend, und aufserdem täglichen Veränderungen unterworfen [1]).

§. 190.

Der magnetische Meridian fällt nicht allgemein mit dem geographischen zusammen, sondern weicht an verschiedenen Orten mehr oder weniger davon ab. Diese Abweichung oder Deklination ist nicht blofs an den verschiedenen Orten der Erde verschieden, und sogar in langen, noch nicht bestimmten, vielleicht gar nicht regelmäfsigen, Perioden veränderlich, sondern zeigt auch einen gewissen von den Jahres- und Tagszeiten abhängigen Wechsel. Aufserdem giebt es mehrere einzelne, zum Theil noch problematische Ursachen, welche die Richtung der Magnetnadel afficiren.

Wegen der mannigfaltigen Schwierigkeiten, welche einer genauen Beobachtung der Deklination im Wege stehen, und hauptsächlich sowohl in der richtigen Bestimmung der Mittagslinie, als auch in dem Einflusse des genäherten Eisens liegen, ist man bis jezt noch nicht dahin gekommen, die Abweichungen an allen verschiedenen Orten der Erde genau zu bestimmen. Inzwischen ist die Anzahl der Beobachtungen grofs genug, um die Richtung der verschiedenen magnetischen Meridiane daraus herleiten zu können.

Am interessantesten ist die Aufsuchung derjenigen Linien, wo keine Abweichung stattfindet, welche aber mit dem geographischen Meridiane nicht gleichmäfsig fortlaufen. Nach den neuesten, vorzüglich durch v. Humboldt, Capitain Sabine, Freycinet, Duperrey, Parry und viele andere angestellten genauen Beobachtungen [2]) läuft eine

der Erde. Mit 5 Charten und einem Atlas von 7 Charten, nebst einem Anhange, welcher Beobachtungen der Abweichung und Neigung der Magnetnadel enthält. Christiania 1819. 4.

[1]) Hierüber und über die Mittel, die magnet. Kraft zu messen s. Mag. for Naturvidenskaberne T. IV. p 268. Vergl. Berzelius Jahresbericht 1826. p. 31. Ueber die absolute Kraft des Magnetismus, wodurch die Nadeln bewegt werden s. unter andern Biot Traité III. 15.

[2]) Die aufserordentlich zahlreichen Beobachtungen findet man in den

solche Linie durch einen Theil des Atlantischen Oceans, schneidet den Meridian von Paris bei 65° S. B. geht von dort N. N. westlich bis 35° westl. Länge nach der Küste von Paraguay, nimmt alsdann ihre Richtung nördlich an der Küste von Brasilien her bis in die Breite von Cayenne. Von hier wird sie schnell nordwestlich, geht nach den vereinten Staaten von Amerika und in der nämlichen Richtung durch das Continent von Nordamerika.

Den Nachrichten zufolge ist dieselbe nicht festbleibend, sondern hat sich von Osten nach Westen bewegt, ging 1657 durch London, 1664 durch Paris, so dafs sie in 150 Jahren gegen 80° der Länge durchlaufen hat. Ob sie sich noch weiter bewegen oder still stehen wird, mufs die Zeit lehren.

Eine andere Linie ohne Abweichung fängt im stillen Ocean an, theilt in nördlicher Richtung Neuholland in zwei ungleiche, die östliche kleinere, Hälften, wendet sich bis zum Aequator stark westlich, von dort an nordöstlich durch das Indische Meer, schneidet bei Cap Comorin in Asien ein, läuft mit Beibehaltung der nordöstlichen Richtung durch das Japanische Meer, wird in 50° N. B. genau nördlich und von dort nord-nordwestlich, kehrt in 70° N B. um und läuft in südlicher, stets westlicher werdender krummlinigter Richtung bis zum hundertsten Grade östl. Länge und 43sten Grade N. B. von wo aus sie in entgegengesetzter Krümmung durch das nördliche Sibirien laufend in 70° N. B. und 65° östl. Länge genau nördlich gerichtet scheint, aber noch nicht weiter bekannt ist. In den Parallelen von 50°; 60° bis zum 70sten Grade durchschneidet man dieselbe hiernach dreimal, und hierin liegt die Ursache, weswegen man dieser Linie früher zwei Arme beilegte. Merkwürdig ist, dafs der südliche Theil dieser Linie bis zum Aequator sich gar nicht, oder sehr langsam bewegt, wenigstens hat man im Neuholland und Jamaica seit 140 Jahren kaum eine Veränderung wahrgenommen; der Theil nördlich vom Aequator dagegen ist seit 1600 merklich nach Osten gerückt, statt dafs die erstere Linie seitdem beträchtlich nach Westen fortgerückt ist, auch hatte diese zu der damaligen Zeit eine ähnliche Krümmung, als die oben angegebene in Sibirien, welche durch Afrika und Europa nördlich und nach einem Wende-

Reisebeschreibungen der genannten Gelehrten; alle älteren zusammengestellt in dem angegebenen Werke von Hansteen, die neueren namentlich in Schumacher's Astronomischen Nachrichten und in den astronomischen, geographischen und physikalischen Zeitschriften.

puncte fast in 70° N. B. von Norwegen aus durch das Atlanlantishe Meer rückwärts lief, und vor der Erreichung des Aequators im Continente von Amerika abermals einen Wendepunct erhielt.

Mehr als zwei solcher Linien sind schwerlich vorhanden; vermuthlich aber laufen diese um die ganze Erde. Dieses und die eigentliche Richtung derselben wird ohne Zweifel bald genau aufgefunden werden, da man jezt mit ungewöhnlichem Fleifse und einem grofsen Aufwande von Kosten diese Frage zu beantworten sucht, welche zugleich für die Schiffahrt von nicht geringem Interesse ist. Vermuthlich haben sie ihre äufsersten Puncte in den vier magnetischen Polen, welche man auf der nördlichen und südlichen Halbkugel aufgefunden hat, über denen die Deklinationsnadel alle Kraft verliert, weil der daselbst concentrirte Magnetismus sie nach allen Seiten gleichmäfsig bewegen kann. Die beiden magnetischen Pole der nördlichen Halbkugel liegen theils nach wirklichen Beobachtungen, theils nach Berechnungen, der eine in etwa 75° westl. Länge und 70° N. B. der andere in etwa 152° östl. Länge und 85° N. B., beide aberhaben seit 1600 ihren Ort sehr verändert, denn damals lag jener in 117° westl. Länge und 72°,5 N. B., dieser dagen in 57° östl. Länge und 87°,5 N. B. Die beiden Pole der südlichen Halbkugel dagegen sollen sich, der eine in 112°,5 westl. Länge und 77°,5 S. B., der andere aber in 151° östl. Länge und 79°,5 S. B. befinden, wohin jener seit 1600 von 58° westl. Länge und 76° S. B., dieser dagegen von 166° östl. Länge und 72°,5 S. B. gelangt ist. Von diesen vier Polen ist aus leicht begreiflichen Gründen nur erst einer durch Beobachtung als wirklich vorhanden erkannt, nämlich durch Parry auf seiner zweiten Reise zur Auffindung einer nordwestl. Durchfahrt. Als nämlich die Schiffe in 74° 19′ 38″ N. B. und 71° 39′ westl. Länge (89° 18′ 40′ von Greenwich) angekommen waren, wurde die magnetische Kraft selbst der besten Nadeln so schwach gefunden, dafs sie sich blofs nach dem magnetischen Pole des Eisens auf dem Schiffe bewegten, und ganz still standen, wenn sie etwas schwerere Charten hatten. Erst als sie sich in 68° 15′ 20″ N. B. und 48° 9 westl. Länge (65° 48′ 38″ von Greenwich) befanden, dreheten sich die Nadeln leicht, und konnten auf die gewöhnliche Weise zur Regulirung des Laufes der Schiffe benutzt werden. Hiernach scheint dieser Pol indefs etwas weiter nördlich zu liegen, als wohin er durch Hansteen gesetzt wrd.

Auf beiden Seiten jeder der beiden angegebenen Linien ohne Abweichung, so wie man sich östlich oder westlich entfernt, weicht die Nadel ab, und zwar ist diese Abweichung westlich zwischen demjenigen Raume der Linien, welcher Europa in sich schliefst, auf der andern dagegen ist sie östlich. Jede derselben wächst, so wie man sich von den Linien ohne Abweichung entfernt, erreicht ihr Maximum, und nimmt dann auf gleiche Weise wieder ab, bis sie in der andern = o wird und jenseits derselben in die östliche übergeht. Vereinigt man die Orte, in denen die Abweichung gleich ist, durch Linien, so erhält man die *Linien gleicher Abweichung*, welche abermals eigene, durch die der Linien ohne Abweichung bedingte, Krümmungen bilden. Man mufs dieselben durch Beobachtungen auffinden, deren eine Menge vorhanden sind, und welche noch täglich vermehrt werden. So fand man z. B. in Salzburg 1798 = 18° 36′; in Dresden 1797 = 18° 30′; in Berlin 1805 = 18° 5′; in Stockolm 1787 = 15° 17; in Ispahan aber 1787 nach Beauchamp = 7° 30′. Dagegen fand Schubert [1]) zu Catharinenburg 5° 26′ östl. zu Kasan 2° 2′,5, zu Irkutsk 0° 32′. Die gröfste Abweichung auf der südlichen Halbkugel fand Cook in 60° 49′ S. B. und 93° 45′ westl. Länge von Paris = 43° 45′ westlich und auf der nördlichen bei 70° 19′ N. B. und 161° 1′ östl. Länge = 36° 19′ östlich [2]). Diese Bestimmungen, wie alle älteren, treffen indefs mit dem, was neuerdings gefunden wurde, nicht mehr überein. Wie die Abweichung sich verhalte, wenn die Seefahrer die beschriebenen Linien passiren, zeigt unter andern folgendes Beispiel. Rümker [3]) beobachtete

1821	Westl. L. von Greenw.		S. Breite.		Abweichung.		
Juli 26	37°	37′	17°	8′	1°	37′	W.
28	37	38	19	2	0	26	—
29	38	52	21	34	0	5	O.
30	41	50	23	15	3	3	—

Dafs die Abweichung der Magnetnadel an einem und

---

1) S. Gilb. Ann. XXVII. 468.

2) S. Biot Traité III. 134. Vergl. Lambert in astr. Jahrb. für 1779. Vancouver Entdeckungsreise 3r Bd. Geogr. Ephem. IV. 152. Monat. Cor. I. 128. Eine Menge Nachweisungen s. in Gilb. Ann. XXX. 481. und in mehreren folgenden Bänden, namentlich die Resultate der Beobachtungen von La Peyrouse XXXII. 77. von Cook XXXV. 206. Eine Zusammenstellung nördlicher Beobachtungen findet sich in Edinb. Phil. Journ. XXVII. p. 111. u. a. m.

3) Schumacher Astronom. Nachr. Jahrg. 1821. p. 76.

demselben Orte in verschiedenen Jahren verschieden sey, geht aus der Vergleichung der von den nämlichen Beobachtern und mit gleichen Instrumenten angestellten Beobachtungen unverkennbar hervor. Namentlich ist im mittleren Europa die Abweichung seit langer Zeit zunehmend westlich gewesen, seit dem Anfange dieses Jahrhunderts stillstehend, und kann gegenwärtig noch als stillstehend oder schon als rückgängig angesehen werden. Am überzeugendsten folgt dieses aus den genauen Beobachtungen in Paris von Cotte [1], deren Hauptresultat ist:

von	1792 bis 1794	Abweichung	westl.	21° 54′
Im Jahr	1798	—	—	22° 17′
—	1799	—	—	22° 0′
—	1800	—	—	22° 12′
—	1801	—	—	22° 1′
—	1802	—	—	21° 45′
—	1803	—	—	21° 59′
—	1804	—	—	22 10′

Andere Beobachter erhielten im Wesentlichen hiermit übereinstimmende Resultate. Cassini fand 1799 Abweich. 22° 49′; Bouvard 1802 = 22° 3′. Im Jahr 1816 war sie gleichfalls auf dem Observatorio 22° 25′; im Jahr 1817 aber 22° 19′ [2]. Die Genfer Beobachtungen geben [3]:

Für	1800	westl.	Abw.	21° 29′ 50″
—	1801	—	—	25′ 50″
—	1802	—	—	26′ 50″
—	1803	—	—	18′ 30″
—	1804	—	—	13′ 0″

Ueber längere Perioden wird folgende Uebersicht der Veränderungen mitgetheilt [4]. Zu Paris war die Abweichung

Jahr		Abw.	Jahr		Abw.	
1580	—	11° 30′	1730	—	19° 55′	W.
1618	—	8 0	1785	—	22 0	—
1663	—	0 0	1805	—	22 5	—
1678	—	1 30	1813	—	22 28	—
1700	—	8 10	1814	—	22 34	
1767	—	19 16	1825	—	22 21,3 [5].	

1) S. J. de ph. 1804. Nov.

2) S. Ann. de chim. et Phys. 1816. Dec.

3) S. Gilb. Ann. XXVII. 467.

4) S. Annuaire présenté au Roi par le Bureau des Longitudes. Par. 1815. Vergl. J. de Phys. LXXIX. p. 462.

5) Nach Arago in Annuaire prés. au Roi 1826. p. 118. Die Beobach-

Am zahlreichsten und genauesten sind die Beobachtungen, welche Gilpin in London angestellt und mit älteren verglichen hat [1]). Hinsichtlich der längeren Perioden hat er folgende Resultate zusammengestellt.

Beobachter.	Jahr.	Abweichung.	jährl. Vorrücken n. W.
Burrow	1580	11° 15′ O.	
Gunter	1622	6 0	7.5
Gellibrand	1634	4 6	9,5
Bond	1657	0 0	10,6
Gellibrand	1665	1 22 W.	10,2
Halley	1672	2 30	9,7
	1692	6 0	10.5
Graham	1723	14 17	16,0
	1748	17 40	8,1
Heberden	1773	21 9	8,4
Gilpin	1787	23 19	9,3
	1795	23 57	4,7
	1802	24 6	1,2
	1805	24 8	0,7

Nach den seit 1817 angestellten Beobachtungen des Colonel Beaufoy [2]) ist die Magnetnadel schon 1819 in England zur gröfsten westlichen Abweichung gekommen. Im Mittel aus den Beobachtungen des Morgens, Mittags nnd Abends war die Abweichung westlich: 1818 = 24° 38′ 23″; 1819 = 34° 36′ 14″; 1820 = 24° 34′ 30″.

Die mit den Jahreszeiten sich verändernde Abweichung der Magnetnadel haben viele beobachtet. Nach Cotte ist sie am kleinsten im Sommersolstitium [3]). Cassini fand sie von den Frühlingsnachtgleichen bis zur Sommersonnenwende abnehmend, von da an stets zunehmend [4]). Daher geben die zu verschiedenen Jahreszeiten angestellten Beobachtungen sehr ungleiche Resultate. So fand Bouvard in Paris 1802 den 2. Mai 22° 3′, den 23. Juli aber 21° 45′; Cotte [5]) ebendaselbst 1804 im Mai 22° 5′, im September 22° 15′.

---

tung ist vom 18. Aug. Mittags, und da die Abweichung Morgens 8 Uhr nur 22° 12′ 48″ betrug, so mufs sie hiernach wieder abnehmend seyn.

1) S. phil. trans. 1806. P. II. p. 385. im Auszuge in J. de ph. LXV. 431. Gilb. Ann. XXIX. 381.

2) Ann. de Chim. et Phys. XVI. p. 58. Ann. of Phil 1822. Mai p. 336.

3) S. Gilb. Ann. XXVII. 463.

4) S. Biot Traité III. 143.

5) Gilb. Ann. XXVII. 463.

Nach dem Berichte des Büreau des Longitüdes [1]) nimmt die Abweichung zu vom Wintersolstitium bis zur Frühlingsnachtgleiche, von da an aber wieder ab bis zum Sommersolstitium, wächst bis zur Herbstnachtgleiche, und nimmt dann wieder ab bis zum Wintersolstitium. Nach zwölfjährigen Beobachtungen von Gilpin [2]) in den Jahren 1793—1805 wird die Abweichung gröſser (westlich) vom Wintersolstitium bis zur Frühlingsnachtgleiche um 0′,80; von da bis zum Sommersolstitium nimmt sie ab (geht östlich rückwärts) um 1′,43, nimmt dann wieder zu bis zur Herbstnachtgleiche um 2′,43 und vermindert sich wieder bis zum Wintersolstitium um 0′,14. Merkwürdig ist, daſs die so allgemein gefundene jährliche Periode aus denjenigen Beobachtungen nicht folgt, welche Beaufoy in den Jahren 1817 bis 1820 gemacht hat, und eben so wenig aus den von Bowditch zu Salem in Nordamerica in den Jahren 1810 bis 1811 angestellten, wo er die Abweichung im Mittel = 6° 22′ 34″,5 östlich fand, und die jährliche Abnahme ohngefähr 2 Minuten [3]).

Die Magnetnadel hat endlich noch eine tägliche Periode einer gröſseren und geringeren westlichen Abweichung. Die gröſsten täglichen Veränderungen betragen nach Cassini zu Paris 13 bis 16′, die kleinsten dagegen zwischen 8 und 10′, das Büreau des Longitüdes dagegen setzt jene, im Juni stattfindenden, zu 14′, diese dagegen, dem December angehörigen, zu 9′. Nach Cotte ist die Magnetnadel Abends zwischen 7 und 8 Uhr stationär, um 8 Uhr Morgens ist die Abweichung am kleinsten, um 2 Uhr Nachmittags aber am gröſsten. Nach Gilpin aus 16monatlichen Beobachtungen ist die Declination stationär im minimo Morgens zwischen 7—8 Uhr, und im maximo gegen 1—2 Uhr Nachmittags. Diese täglichen Veränderungen betrugen nach zwölfjährigen Beobachtungen im Mittel im März 8′,5; im Junius 11′,2; im Julius 19′,6; im September 14′,8; im December 7′,6. Man nimmt meistens an, daſs die tägliche Veränderung der Magnetnadel nach Art der Ebbe und Fluth zwei Maxima und zwei Minima habe, allein dieses folgt nicht aus Gilpin's Beobachtungen. Vielmehr erhält die Magnetnadel in Europa etwa um 2 Uhr Nachts ihre geringste westliche Abweichung, und um 2 Uhr Nachmittags ihre gröſste westliche. Von 6

1) S. Annuaire prés. au Roi 1815.

2) Phil. Trans. 1806. T. II. p. 385.

3) Ann. de Chim. et de Phys. XV. p. 65.

bis etwa 8 Uhr Morgens und in den nämlichen Stunden des Abends scheint sie einen Ruhepunct zu haben, bewegt sich dann aber von 8 bis 12 Uhr im Sommer und im Winter von 10 bis 1 Uhr, oder allgemein etwa 2,5 Stunden nach Sonnenaufgang, schneller bis zu ihrer gröfsten Abweichung nach Westen, als sie Nachmittags von da wieder zurückkehrt. Auf allen Fall scheint diese Bewegung mit der Höhe der Sonne über dem Horizonte zusammenzuhängen, auch erreicht die tägliche Veränderung ihr Maximum, wenn die jährliche ihr Minimum erhält, nämlich im Sommersolstitium [1].

Unter die verschiedenen, zum Theil noch problematischen, Einflüsse auf die Magnetnadeln gehört unter andern das Nordlicht, welches dieselbe indefs nur in vorübergehende Schwankungen versetzen soll [2]. Diese vielfach untersuchte Erscheinung ist nach dem kürzlich entdeckten Zusammenhange zwischen dem Magnetismus und anderen Potenzen nicht mehr so auffallend, als früher; indefs wird die Betrachtung derselben am besten mit der der Nordlichter verbunden §. 277. Auch bei Gewittern will man eine Afficirung derselben wahrgenommen haben, wovon die Ursache weit leichter nachzuweisen ist, als von den übrigen plötzlichen Anomalieen, welche dieselbe in seltenen Fällen zeigt, z. B. den 21sten Dec. 1789 verlor der Magnet Gruber's zu Polosko plötzlich seine Kraft, und erhielt sie erst nach 10 Stunden von selbst wieder [3]. Andere einzelne, gelegentlich erzählte Fälle werden nicht allezeit genau beachtet. Dafs grofse Wärme die Kraft der Magnete überhaupt, und also auch der Nadeln schwäche, ist schon oben §. 185 angegeben. Verschiedene Seefahrer, namentlich Rofs [4], bemerkten aufserdem zwar hauptsächlich auch einen schwächenden Einflufs grofser Kälte und feuchter, kalter Witterung, womit Han-

[1]) Von den zahlreichen Quellen sind unter andern zu nennen Phil. Trans. LI. p. 391, wo sich die Beobachtungen von Canton finden. Ebend. LXIV. p. 2. Ebend. 1806 und 1827. T. II. p. 308. Die gesammten wichtigeren älteren Beobachtungen, deren im Ganzen an 35000 von Celsius, Hiörter, Canton, Gilpin, Wilke, Wargentin, van Swinden, Cassini, Cotte u. s. w. vorhanden sind, findet man in dem angezeigten Werke von Hansteen. Eine Reihe schätzbarer Beobachtungen hat Schübler in Hofwyl angestellt. S. Schweigger's Journ. XXVIII. p. 305.

[2]) S. Biot Traité III. 143. vorzüglich v. Humboldt in Gilb. Ann. XXIX. 428.

[3]) S. Allg. Lit. Zeit. J. Bl. 1790. N. 56.

[4]) Voyage to the Baffinsbay. Lond. 1819. 4. Append. p. XIV. XVII. XXIX.

steen's [1]) Beobachtungen übereinstimmen, zugleich aber scheint diese Ursache sogar auch auf die Ablenkung der Nadeln einigen Einfluſs zu haben, und namentlich die Gröſse ihrer Abweichung zu vermindern.

Insofern alles gewöhnliche Eisen durch den tellurischen Magnetismus magnetisch wird, müssen namentlich auch die groſsen Massen desselben auf den Schiffen die Compaſsnadeln afficiren, und von ihrer eigentlichen Richtung abziehen. Man nennt die hieraus entstehende Unrichtigkeit die Ablenkung oder Abirrung (*aberratio*) der Magnetnadel, welche sich auſserdem mit der Richtung des Schiffes und der wechselnden Polarität des Eisens ändert, und deren Kenntniſs für die Seefahrer von groſser Wichtigkeit ist. Barlow [2]) hat diesen Gegenstand vorzüglich untersucht, und Mittel angegeben, um den Fehler durch eine in der erforderlichen Entfernung angebrachte Eisenplatte zn corrigiren.

§. 191.

Wenn eine völlig fertige Magnetnadel vor dem Magnetisiren in ihrem Schwerpuncte so aufgehangen wird, daſs sie sich in einer verticalen Ebene um ihr Centrum frei bewegen kann, und dann vermöge genauer Balancirung in jeder Lage ruhet, so wird sie nach der Mittheilung des Magnetismus auf der nördlichen Halbkugel mit dem Nordpole, auf der südlichen mit dem Südpole herabsinken, und mit dem Horizonte einen den Graden der Breite proportionalen Winkel bilden. Solche Nadeln, in einem zum Messen dieses Winkels bequemen Apparate heiſsen Inklinationsnadeln, *inclinatoria*. Sie zeigen den Inklinationswinkel bloſs dann genau, wenn sie im magnetischen Meridiane gerichtet sind, nehmen aber die lothrechte Stellung an, wenn sie mit demselben einen rechten Winkel bilden. Die Beobachtungen mit denselben in verschiedenen Gegenden der Erde zeigen das Vorhandenseyn eines eige-

[1]) S. dessen Untersuchungen. T. I. p. 468.

[2]) Essay on magnetic attractions and on the Laws of Terrestrial and Electro-Magnetism. By P. Barlow. 2d. ed. Edinb. 1823. 8. Mit einem appendix 1824. u. a. a. O.

nen, weder mit dem Aequator der Erde zusammenfallenden, noch auch die magnetischen Meridiane insgesammt normal schneidenden magnetischen Aequators.

Robert Norman machte 1576 zuerst Versuche mit der Inklinationsnadel bekannt, für deren Erfinder er gehalten wird. Weil die genannte Eigenschaft der Neigung allen magnetisirten Nadeln eigen ist, so sind diejenigen, welche sich in den Schiff-Compassen befinden, mit einem verschiebbaren Gegengewichte versehen, um in allen Breiten horizontal gestellt zu werden.*

Die Verfertigung völlig genau gearbeiteter Inklinationsnadeln ist mit grofsen Schwierigkeiten verbunden. Sehr schön sind sie früher durch Brander geliefert, und sehr zweckmäfsige, durch die Ausführung völlig bewährte Vorschläge, nebst einer Anweisung, die Fehler des ungleichen Gewichtes der Nadeln durch Rechnung zu verbessern, sind von J. T. Mayer [1]. Eine sehr nahe liegende Correction der Fehler, welche aus einer unrichtigen Balancirung der Nadeln entspringen, erhält man dadurch, dafs der Kreis der Nadel um 180° im Azimuth herumgedrehet wird, wodurch die Wirkung des Fehlers auf die entgegengesetzte Seite fällt, und also das Mittel aus beiden Beobachtungen den corrigirten Werth giebt. Heifst dann die Inklination der Nadel nach der Kreistheilung gemessen $= I$; der Winkel, welchen dieselbe mit der Verticale bildet, in der ersten Lage $= F$; nach der Umdrehung $= f$, so ist $\text{cotang.}\, I = \text{tang.}\, \frac{1}{2}(F+f)$. Man pflegt zu noch genauerer Correction der Fehler die Neigung beider Enden der Nadeln zu benutzen, und zu diesem Zwecke die Pole durch Streichen mit einem starken Magnete umzukehren. Heifsen dann die anfänglich gemessenen Winkel F und f; die nach der Umkehrung der Pole auf gleiche Weise abgelesenen G und g; nennt man ferner $\text{tang.}\, F + \text{tang.}\, f = A$; $\text{tang.}\, F - \text{tang.}\, f = B$; $\text{tang.}\, G + \text{tang.}\, g = C$ und $\text{tang.}\, G - \text{tang.}\, g = D$, so ist nach Sabine [2] $2 \cot. I = \frac{AD + BC}{B + D}$. Um aber hierbei die noth-

[1]) S. Comment. de usu accurat. acus inclinat. magnet. in Com. rec. Soc. Gott. T. III. Gilb. Ann. XLVIII. 229. Ebendaselbst findet man die Beurtheilungen der Branderschen und sonstigen Inklinatorien. Vergl. Brander's Beschreibung u. s. w. Augsb. 1779. Ueber das Borda'sche Inklinatorium S. Gren Journ. VII. 448. Geograph. Ephem. 1793. p. 146—61. Gilb. Ann. IV. 448.

[2]) Phil. Trans. 2822. I.

wendig erforderliche Bedingung zu erhalten, nämlich dafs sich die Nadel genau im magnetischen Meridiane befinde, pflegt man sie in denselben durch eine Abweichungsnadel richtig zu stellen, und diese dann wegzunehmen, um ihren störenden Einflufs zu vermeiden.

Auch vermittelst der Inklinationsnadeln läfst sich die Stärke der magnetischen Kraft messen, und da auch diese pendelartig schwingen, so mufs dieselbe dem Quadrate der Schwingungen in gleichen Zeiten direct proportional seyn. Weil ferner die Inklination im magnetischen Aequator der Erde = 0 ist, über den magnetischen Polen derselben aber = 90°, dort also die neigende Kraft der Nadel = 0 hier aber = 1, beide mithin vom magnetischen Aequator nach dem Pole hin gleichmäfsig wachsen, so hat de La Place hierauf ein sinnreiches Mittel gegründet, die magnetische Inklination an jedem Puncte der Erde zu messen. Heifst diesemnach die Zahl der Secunden, worin eine gegebene Anzahl von Schwingungen der Nadel in der Ebene des magnetischen Meridians vollendet wird = m, die Zahl der Secunden, welche einer gleichen Anzahl Schwingungen der nämlichen Nadel in der auf diesen Meridian lothrechten Ebene zugehört = p, so ist $\sin. I = \frac{m^2}{p^2}$. Nennt man aber die Zahl der Secunden für eine gleiche Anzahl Schwingungen der horizontalen Nadel n, so ist $\cos. I = \frac{m^2}{n^2}$. Man kann hiernach die Inklination unmittelbar und zugleich durch jenes oben angegebene Verfahren, desgleichen durch die beiden hier mitgetheilten messen, und die verschiedenen Resultate vereinigen, um dieselbe völlig genau zu erhalten [1].

Aus der Vergleichung des Verhaltens der Inklinations- und der Deklinationsnadeln, welche beide durch den Einflufs des tellurischen Magnetismus ihre Richtung erhalten, werden die anscheinend auffallenden Phänomene erklärlich, welche Barlow [2]) beobachtet, und G. G. Schmidt [3]) vollständig erläutert hat. Der von jenem ausgesprochene Hauptsatz heifst, dafs Eisenmassen innerhalb des magnetischen Aequator's keine Anziehung auf die Magnetnadel äu-

---

1) Eine Methode, die magnetische Kraft an den verschiedenen Orten der Erde vermittelst zweier Nadeln zu messen lehrt Poisson in Conn. des Tems 1828.

2) Phil. Trans. 1818. Edinb. Phil. Journ. T. I. p. 314.

3) Gilb. Ann. LXXIV. 225.

ſsern, welches sich mit Rücksicht darauf, daſs die Inklinationsnadeln nur in einer verticalen, die Deklinationsnadeln aber nur in einer horizontalen Ebene beweglich sind, auf Fig. 220] folgende Weise erläutern läſst. Ist h h' eine Linie in der horizontalen Ebene, in welcher sich die Magnetnadel befindet, so ist S a N h', ein diese willkührlich verlängerte Linie schneidender Kreis, der magnetische Meridian. Wird in die durch diesen gegebene Ebene eine Inklinationsnadel gebracht, so bildet sie mit der Verticale v w einen von der nördlichen Breite (oder der südlichen auf der andern Halbkugel) abhängigen Winkel, und ihre Richtung bezeichnet zugleich die der sie bewegenden Kräfte. Es sind demnach N und S die Pole der Erde in Beziehung auf die jedesmal gebrauchte Nadel, vorausgesetzt, daſs ihre geometrische Axe mit ihrer magnetischen zusammenfällt. Diejenige Ebene a a', welche eine durch die magnetische Axe der Nadel gelegte rechtwinklich schneidet, ist die des magnetischen Aequators. Nähert man ein Stück weiches Eisen A der Inklinationsnadel in diesem magnetischen Aequator so, daſs die Masse desselben durch die Ebene des Aequator's in zwei gleiche Hälften getheilt wird, wie sich bei der gewählten Form des Würfels am besten zeigen läſst, und wird also in diesem durch den tellurischen Magnetismus der des weichen Eisens §. 188 erzeugt, so haben beide Pole des Eisens, wenn man dasselbe im Aequator ganz herumführt, überall von beiden Polen der Nadel gleichen Abstand, und da die Wirkungen auf beide einander entgegengesetzt sind, müssen sie sich einander aufheben, und es wird also die Nadel in Ruhe bleiben. Weil aber diejenige magnetische Kraft, welche die horizontal gelegte Nadel bewegt, dieselbe Richtung S N hat, so wird für diese das Nämliche stattfinden. Endlich wird auch eine Magnetnadel, wenn sie bloſs im magnetischen Aequator beweglich ist, durch den tellurischen Magnetismus in jeder Lage gleichmäſsig afficirt, weil ihre Pole von den tellurisch-magnetischen Polen N und S überall gleichen Abstand haben. Eine solche Nadel muſs in jeder Lage ruhen, und heiſst daher *astatische Nadel*.

Aus den Berichten wissenschaftlicher Reisenden, welche auſser mehreren früheren Bearbeitungen derselben zusammengestellt und verglichen sind durch **Biot** und **v. Humboldt**[1]) geht hervor, daſs es einen um die ganze Erde

[1]) Les variations du magnetisme terrestre à différentes Latitudes par M. Humboldt et Biot cet. Par. 24 S. Mit 2 K. 4. Vergl. Coulomb in Mém. de l'Inst. V. und Biot III. 127 ff.

herumlaufenden magnetischen Aequator giebt, wo die Inklinationsnadel horizontal steht, und von dessen beiden Seiten aus die nördliche und südliche Inklination den Graden der Breite proportional wächst, bis sie in den magnetischen Polen wahrscheinlich ihr Maximum, d. h. 90° erreicht. Mit Ausnahme einer oder einiger starker Krümmungen durchschneidet dieser den geographischen Aequator in einem Winkel von 12°. Der eine Knoten desselben ist bei 115° 34′ westl. Länge von Paris im Südmeere bei der Insel Gallego, 900 Lieues von den Küsten Peru's, wonach der zweite Knoten in 295° 34′ westl. Länge fallen muſs. Allein nach den genauen Beobachtungen von William Bayly und Cook auf zwei Schiffen 1777 wurde der magnetische Aequator bei 158° 50′ 9″ westl. Länge und 3° 13′ 40″ südl. Breite angetroffen, statt daſs er sich bei 8° 36′ 30″ nördl. Breite hätte finden müssen. Bayly und Dalrymple fanden auſserdem im Indischen Meere bei 256° westl. Länge und 7° nördl. Breite den magnetischen Aequator, und man muſs daher annehmen, daſs zwischen 115° 34′ und 158° 50′ 9″ westl. Länge der magnetische Aequator nochmals den geographischen schneidet, und abermals zwischen der lezteren und zwischen 256° westl. Länge, bis er an den zweiten Hauptknoten in 295° 34′ kommt. Diese leztere Anomalie sucht Biot aus einem partiellen störenden Einflusse eines Magnetes im Innern der Erde zu erklären, allein theils ist die Existenz einer solchen Krümmung nach andern Beobachtungen zweifelhaft, theils ist der magnetische Aequator vermuthlich auf gleiche Weise veränderlich, als die oben angegebenen Linien der Abweichung, und endlich ist es nach den neuesten Entdeckungen über den Magnetismus noch sehr fraglich, ob der tellurische von einem oder zwei Magneten im Innern der Erde abzuleiten sey. In Europa, Asien, Afrika, dem atlantischen Ocean und den Ostküsten von Amerika scheint der magnetische Aequator einen regelmäſsigen gröſsten Kreis zu bilden und die Inklination auf beiden Seiten gleich zu seyn. Den einen magnetischen Pol setzt Biot diesemnach in 25° westl. Länge und 90° — 12° = 78° nördl. Breite im östl Theile von Grönland, den anderen in 205° westl. Länge und 78° südl. Breite, welches jedoch mit den genaueren Beobachtungen nicht übereinstimmt, wonach sich vielmehr die oben erwähnten zwei magnetischen Pole auf der nördlichen Halbkugel finden, deren einer durch Parry, Roſs u. a. wirklich aufgefun-

den ist, und über welchem die Inklinations-Nadel allerdings ihre gröfste Stärke und eine verticale Richtung hatte.

Die Abweichungen solcher verschiedener Angaben von einander lassen sich indefs sehr gut erklären, und werden auch durch die Erfahrung bestätigt. Morlet und Hansteen haben über die Lage des magnetischen Aequators aus den bekannten zahlreichen Beobachtungen Charten entworfen [1]), welche die Lage des magnetischen Aequators für 1780 angeben. Werden diese mit den Beobachtungen verglichen, welche Düperrey von 1822 bis 1825 auf seiner Entdeckungsreise gemacht hat, indem er den magnetischen Aequator sechsmal durchschnitt, so ergiebt sich hieraus, dafs derselbe ohne Veränderung seiner Neigung alle Jahre von Osten nach Westen weiter rückt, und zwar beträgt diese Fortrückung seit 1780 bis 1823 etwa 10 Grade [2]).

Die magnetische Inklination scheint weder langen Perioden, noch jährlichen und täglichen Veränderungen unterworfen zu seyn [3]), erfordert jedoch sehr feine Werkzeuge, um genau gemessen zu werden, und es ist daher fraglich, ob die darüber vorhandenen Beobachtungen hinlänglich genau sind. In Paris fand Coulomb [4]) 1803 die Neigung = 69° 29′. Andere [5]) fanden sie 70° 15′. Cotte [6]) aber behauptet alle Beobachtungen, vorzüglich die älteren von Dühamel, Musschenbroek u. a. bis 1808, seyen unzuverlässig. Im Jahr 1826 d. 6. Oct. wurde sie nach genauen Beobachtungen 68° 40′ gefunden [7]), im Jahr 1810 im Oct. = 68° 50′, und mit derselben Nadel 1817 im März gleichfalls 68° 50′, wonach dieselbe also unveränderlich wäre; aber am 19ten Aug. 1825 um 2 Uhr Nachmit. fand Arago [8]) dieselbe = 68° 0′. Diese Angabe mit der von Coulomb verglichen zeigt eine langsame Abnahme der Inklination, welche jährlich etwa 4 Min. beträgt. Von Humboldt, Gay-Lüssac und Arago fanden sie aus

---

[1]) Biot Précis élém. de Phys. T. II. Taf. III.
[2]) Ann. Chim. et Phys. XXX. p. 317.
[3]) S. Cavallo Lehre vom Magnete mit eigenen Versuchen, aus dem Engl. Leipzig 1788. 8.
[4]) S. mém. de l'Inst. IV.
[5]) S. Journ. d. phys. LX. 31.
[6]) S. Journ. d. phys. LXV. 235.
[7]) S. Ann. de chim et phys. Dec.
[8]) Annuaire prés. au Roi. 1826. p. 178

der Vergleichung der Beobachtungen von 1798 bis 1814 indefs etwas gröfser.

Vorzüglich viele und genaue Beobachtungen der Inklination sind in England, und namentlich in London angestellt. Robert Norman fand im Jahre 1576 dieselbe = 71° 50'; Gilpin und Cavendish fanden sie 1775 = 72° 30'; im Jahre 1805 will man sie = 70° 21' gefunden haben, welches v. Humboldt bestätigt fand [1]), und von der Wahrheit gewifs nicht sehr abweicht. Die genauesten Messungen der neuesten Zeit sind von Sabine [2]), welcher in London 1721 dieselbe = 70° 03' fand, und da sie durch Nairne im Jahr 1772 und Cavendish 1776 im Mittel für das Jahr 1774 = 72° 25' gefunden war, so gäbe dieses eine Abnahme von jährlich 3,02 Minuten. Dieses kommt mit einer andern Bestimmung sehr genau überein; denn nach Whiston's Beobachtungen, welche Cavendish [3]) für sehr genau hält, war sie 1720 = 75° 10' welche Bestimmung mit der oberen verglichen zwischen 1720 bis 1774 eine ähnliche Abnahme von 3',05 giebt. Nach Barlow [4]) verändert sich die Inklination jezt stärker als die Deklination, und dieses wird noch fortdauern, so dafs für 1828 die Deklination 24° 29' die Inklination aber 69° 43'; im Jahre 1833 aber jene 24° 26' diese aber 69° 21' betragen wird. Diese fortgehende Abnahme wird 260 Jahre dauern, wonach die Deklination = 0, die Inklination = 56° im Minimum seyn wird. Dann werden beide 260 Jahre hindurch wachsen, worauf die Deklination östlich ihr Maximum erreicht, und indem diese dann 165 Jahre lang wieder abnimmt, die Inklination aber stets wächst, wird im Jahre 2510 die Deklination in London = 0, die Inklination aber im Maximo = 77° 43' seyn.

Von andern Orten hat man gleichfalls Beobachtungen, aber keineswegs so zahlreiche. Aus ihnen geht im Allgemeinen hervor, dafs die Inklination auf der nördlichen Halbkugel nördlich, auf der südlichen südlich ist, und mit der Zunahme der Polhöhe wächst. So ist sie z.B. in Torneä = 78°; auf Spitzbergen = 81° 30' nördlich; auf dem Vorgebirge der guten Hoffnung dagegen = 41° 44' südlich.

---

[1]) S. Gilb. Ann. XXIX. p. 400.
[2]) Phil. Trans. 1822. T. I p. 1.
[3]) S. Phil. Trans. for 1776.
[4]) Ann. of Phil. V. p. 456.

§. 192.

Die absolute Stärke der magnetischen Anziehung wächst vom Aequator an nach den Polen hin, nimmt aber bei bedeutender Erhebung über die Oberfläche der Erde nicht merklich ab, so dafs der Magnetismus hiernach zu schliefsen sich bis in unendliche Fernen erstrecken müfste. Man hat versucht dieses und die gesammten Erscheinungen des tellurischen Magnetismus aus der Hypothese eines oder mehrerer in der Erde befindlicher natürlicher Magnete zu erklären, allein dieser aufgestellten und lebhaft vertheidigten Hypothese stehen nach den neuesten Beobachtungen unüberwindliche Einwürfe entgegen.

Eine absolut gröfsere Stärke der magnetischen Kraft in nördlichen Gegenden verglichen mit der in südlichern geht aus den Beobachtungen v. Humboldt's hervor. Dieser fand, dafs seine Nadel, welche in Paris 245 Schwingungen in 10 Minuten machte, in Peru nur bis 211 kam, obgleich die nämliche Nadel nach drei Jahren in Mexico wieder die nämliche Zahl von Schwingungen als früher in Paris gab. Ihre Stärke stand also an beiden Orten im Verhältnifs von 1 : 0,742. Zu ähnlichen Resultaten führen die Versuche, welche Rossel zu Brest und Neuholland angestellt hat, und eine sehr grofse Menge aus der neueren Zeit. Vereinigt man die Oerter der Erdoberfläche, wo die magnetische Kraft gleich ist, so erhält man die neuerdings hauptsächlich durch Hansteen untersuchten *isodynamischen Linien.*

Dafs die magnetische Kraft in beträchtlicher Erhebung über der Erdfläche nicht bedeutend abnimmt, ist durch Versuche von Biot und Gay-Lüssac bei ihrem aërostatischen Auffluge bewiesen, indem die mitgenommene Magnetnadel in einer Höhe von 3532 Toisen gleiche Stärke, als an der Oberfläche der Erde zeigte [1]. Wenn Sacharow in minder beträchtlicher Höhe das Gegentheil hiervon fand [2], so liegt die Ursache hiervon an der Unvollkommenheit der Beobachtungen.

---

[1]) S. Gilbert Annalen XX. II.

[2]) Gilbert Annalen XX. p120.

Viele haben die Erscheinungen des tellurischen Magnetismus aus der Hypothese zu erklären versucht, dafs sich im Innern der Erde ein starker Magnet befinde, vorzüglich Halley, welcher einen Magnet mit vier Polen annehmen zu müssen glaubte, wogegen Euler und Tob. Mayer zwei Pole, deren Lagen sich durch unbekannte Ursachen ändern sollen, zur Erklärung der Erscheinungen für hinlänglich halten [1]). Später haben Biot und v. Humboldt die magnetischen Inklinationen wenigstens für diejenigen Gegenden, wo der magnetische Aequator kreisförmig ist, auf einen kleinen zweipoligen Magnet im Innern der Erde zurückgeführt. Die angezeigte Abweichung im Südmeer soll dann aus einem noch kleineren Magnete von geringerer Intensität abgeleitet werden. Weil es aber solcher Irregularitäten mehrere giebt, so meint Biot, die gesammten Erscheinungen liefsen sich am bequemsten aus vielen im Erdball zerstreuten Massen natürlicher Magnete von verschiedener Gröfse ableiten. Einen wesentlichen Einflufs auf den Magnetismus sollen dann die vulcanischen Actionen und übrigen chemischen Processe im Innern der Erde haben, indem sie die Beschaffenheit des magnetischen Eisens stets veränderten, auch bemerkte v. Humboldt eine merkliche Veränderung des Magnetismus in Peru nach einem starken Erdbeben, und die zunehmende westliche Deklination der Magnetnadel in Europa könnte demnach als eine Folge dieser Veränderung des magnetischen Eisens im Innern der Erde angesehen werden.

So lange blofs die bis hierher erläuterten magnetischen Erscheinungen, namentlich der natürliche Magnetismus des Magnetkieses, der künstliche des Stahles und der tellurische der Erde bekannt waren, konnte eine solche Hypothese zur Vereinigung aller dieser dienen, obgleich nicht wohl abzusehen ist, wie die jährlichen und insbesondere die täglichen, mit der Höhe der Sonne über dem Horizonte zusammenhängenden Veränderungen der Deklination damit in Einklang zu bringen sind. Inzwischen konnte für die leztere eine neue Hypothese aushelfen, wenn angenommen

---

[1]) Euler Recherches sur la declinaison de l'aiguille aimanté in Mém. de Berlin 1757 und 1766. T. Mayer in Ungedruckte Abhandl. herausg. von Lichtenb. Vergl. J. T. Mayer Naturlehre p. 523. Gött. Gel. Anz. 1762. p. 377. Sehr ausführliche und gründliche Untersuchungen und Berechnungen der Deklinationen und Inklinationen der Magnetnadel von Mollweide finden sich in Gilbert Ann. XXIX. 1 und 251.

wurde, dafs die Sonnenwärme auf den tellurischen Magnetismus störend oder disponirend wirke. Dazu kam die als beweisend betrachtete Thatsache, dafs sich an verschiedenen Orten der Erdkruste so ungeheure Massen von Magneteisenstein finden, wonach man sich berechtigt glauben konnte zu schliefsen, dafs sich solche auch im Innern des Erdkernes befinden oder dieser ganz daraus bestehen könne. Es läfst sich indefs hiergegen einwenden, dafs jenes Eisenerz seinen Magnetismus erst an der Oberfläche der Erde erhält §. 183, und aufserdem ist augenfällig, das die Pole der einzelnen Stücke jener Massen, falls sie vorhanden wären, sich selbst vernichten würden, weil sie durch Vereinigung bedeutend stärkere Wirkungen zeigen müfsten, als man über denselben auf der Erdoberfläche wahrnimmt.

Wenn also nach früher bekannten Thatsachen der Hypothese, wonach der tellurische Magnetismus die Wirkung eines grofsen, im Innern der Erde vorhandenen Magnetes seyn sollte, nicht unbedeutende Argumente entgegenstanden, so kann dieselbe unmöglich mit Consequenz durchgeführt werden, seitdem man in den neuesten Zeiten die Erfahrung gemacht hat, dafs in einer sehr grofsen Zahl von Körpern, wo nicht in allen, durch die verschiedensten Ursachen magnetische Polarität hervorgerufen wird. Dieselben Ursachen, welche Lezteres herbeiführen, wirken auch im Grofsen auf unsere Erde, und es ist daher ungleich wahrscheinlicher, dafs ihnen die Erzeugung des tellurischen Magnetismus beizulegen sey, als diesen von einem schon vorhandenen Magnete in der Erde abzuleiten Uebrigens ist es bis jezt noch niemanden gelungen, diese Ursache und die Wirkungen der Erdpole nebst den Veränderungen ihrer Lage und den Wechsel der Inklination und Deklination in einen genauen Zusammenhang zu bringen.

Einige Gelehrte, z. B. Chladni und Biot sind geneigt, auch der Sonne, dem Monde und den übrigen Himmelskörpern Magnetismus zuzuschreiben [1]. Den Beweis hierfür finden sie darin, dafs die aus dem Weltraume auf der Erde ankommenden Substanzen vorzüglich aus magnetischen Bestandtheilen, Eisen und Nickel, bestehen [2].

---

[1]) S. Lampadius Atmosphärologie. Freiburg 1806. p. 48.

[2]) S. Biot Traité III. 131 ff. Ueberhaupt ist der bisher vorgetragene Theil der Lehre vom Magnetismus in diesem grofsen Werke sehr vollständig und gründlich abgehandelt. Die vorzüglichsten Quellen aufserdem sind: Tractatus, sive physiologia nova de magnete,

3) Vorübergehender Magnetismus durch Magnetismus erzeugt.

§. 193.

Wenn es gleich problematisch bleibt, ob ganz eisenfreie Körper in ihrem gewöhnlichen Zustande irgend eine Wirkung auf den Magnet äufsern, so ist es doch ausgemacht, dafs auch diese, hauptsächlich die Metalle, in gröfseren Massen die Magnetnadel und namentlich den Einflufs des tellurischen Magnetismus auf dieselbe bedingen. Im Allgemeinen führen die gesammten hierher gehörigen Erscheinungen darauf, dafs der Magnetismus in diesen Körpern durch den Magnetismus eines künstlichen Magnetes erst erregt werde, und dann störend auf diesen wieder zurückwirke. Hauptsächlich zeigt sich dieses im Magnetismus durch Rotation und dem eigenthümlichen, welcher in Metallen mit geringen Spuren von Eisen versehen durch starke Magnete hervorgerufen wird.

Ob die magnetischen Körper, namentlich die Metalle, wenn sie ganz frei von Eisen, Nickel und Kobalt sind, und so lange ihr Zustand der elektrischen Indifferenz nicht geändert wird, anziehend auf den Magnet wirken §. 183, ist wegen der grofsen Schwierigkeit genauer Versuche hierüber vielleicht gar nicht auszumitteln; gewifs aber ist, dafs eine solche Einwirkung nur sehr geringe seyn kann, und

---

magneticisque corporibus et magno magnete tellure cet. a Guil. Gilberto. Sedini 1633. 4. Petri v. Musschenbroek dissert. phys. exper. de magnete in dissert. phys. et geom. P. I. L. Euleri opuscula Berol. 1751. 4. vol. III. Ebendesselben Abhandlung über den Magnet in Mém. de l'Acad. de Berlin. 1757 ff. Description des courants magnetiques cet. par Bazin. Strasb. 1753. 4 Mit 20 K. van Swinden Tentamina theoriae mathemat. de phaenomenis magneticis Franeq. 4. sehr gehaltreich). A. Brugmanni tentamina philos. de Materia magnetica. Franeq. 1765 deutsch. von Eschenbach. Leipzig 1784. Tib. Cavallo Treatise on Magnetism in theory and practice. Lond. 1788. deutsch Leizig 1788. Hauy Darstellung der Theorie der Elektr. und des Magnetismus nach den Grundsätzen des Aepinus. Altenburg 1801. P. von Löwenörn über den Magnet; ein Beitrag zur Erklärung der Magnetnadel, aus dem Dänischen von

dafs jene Körper auf allen Fall nicht polarisch magnetisch werden. Dennoch aber finden reciproke Wirkungen zwischen ihnen und den Magneten statt, welche so viel stärker sind, je gröfser die Kraft der lezteren ist. Es lassen sich dieselben insgesammt unter drei Classen ordnen:

1) Wenn eine gewöhnliche Magnetnadel über einer eisenfreien Kupferplatte schwingt, so ist die Dauer ihrer Schwingungen zwar unverändert, die Weite der Schwingungsbögen aber kleiner, als wenn die Platte sich nicht unter ihr befindet, woraus man schliefsen mufs, dafs Magnetismus in dieser Scheibe erregt wird. Arago entdeckte dieses zuerst [1], und Seebeck machte es zum Gegenstande ausführlicher Untersuchungen, indem er eine an einem Coconfaden aufgehangene Magnetnadel, welche über Marmor 116 Schwingungen machte, ehe die Bögen sich von 45° bis 10° verringerten, über verschiedenen Metallen schwingen liefs, und die Mengen der Schwingungen zählte, bis eine gleiche Verminderung eintrat. Da die magnetische Wirkung der Metalle jener Zahl umgekehrt proportional ist, so bilden dieselben von dem schwächsten anfangend folgende Reihe: Marmorplatte 116 Schwingungen; Quecksilber 2 Lin. dick 112; Wismuth 2 Lin. dick 106; Platin 0,4 Lin. dick 94; Antimon 2 Lin. dick 90; Blei 0,75 Lin. dick 89; Gold 0,2 Lin. dick 89; Zink 0,5 Lin. dick 71; Zinn 1 Lin. dick 68; Messing 2 Lin. dick 62; Kupfer 0,3 Lin. dick 62; Silber 0,3 Lin. dick 55; Eisen 0,4 Lin. dick 6. Die Metallplatten unter den Nadeln dürfen nicht kleiner seyn, als der Kreis, welchen die Spitze der Nadel beschreibt, ihre Wirkung wächst, wenn sie gröfser sind, jedoch nur bis zu einer gewissen Grenze, welche sie sehr bald erreichen. Aufserdem nimmt auch der Einflufs solcher Platten auf die Schwingungen der Magnetnadel mit der Metallmasse zu. Seebeck prüfte dieses, indem er mehrere gleiche oder verschiedene Platten auf einander schichtete, und fand, dafs auch hierbei eine Grenze bald erreicht wird, über welche die Vermehrung des Einflusses nicht hinausgeht. Es gehörten nämlich zu einander:

Markussen. Kopenhagen 1802. Am vollständigsten und gründlichsten ist das sehr gelehrte Werk: Ueber den Magnetismus der Erde. Mit 5 Kupfertafeln und einem Atlas von 7 Charten, nebst einem Anhange, welcher Beobachtungen der Abweichung und Neigung der Magnetnadel enthält, von Hansteen. Christiania 1819. 4.

[1]) Ann. de Chim. et de Phys. 1824. Dec. p. 363.

Kupferplatten,	Schwingungen;	Kupferplatten,	Schwingungen.
1 —	26	5 —	12
2 —	18	6 —	12
3 —	14	7 —	11
4 —	13	8 bis 45 —	11

dafs die Schwingungen der Nadeln, dieser Verminderungen ihrer Amplitüden ungeachtet isochronisch sind, erkannte Seebeck durch directe Versuche. Die hier mitgetheilten Resultate sind später wiederholt bestätigt worden, jedoch ohne irgend eine wichtige Erweiterung der Sache.

Seebeck gründet auf seine Beobachtungen eine Theorie, welche sich sogleich als sehr genügend ankündigt. Brugmanns und Coulomb wollten schon gefunden haben, dafs viele Körper, und unter diesen namentlich die Metalle, leicht magnetisch würden, obgleich lezterer die stattfindende Einwirkung später von enthaltenem Eisen ableitete §. 183. Hansteen [1]) wollte nachher gefunden haben, dafs jeder lothrechte Gegenstand, aus welcher Substanz er auch bestehen möge, oben einen magnetischen Südpol, unten einen Nordpol durch Einwirkung des tellurischen Magnetismus erhalte. Der Magnetismus in den Scheiben ist indefs ohne Zweifel kein bleibender, sondern wird erst durch die genäherte Nadel vermittelst der Vertheilung erzeugt. Der über der Metallscheibe befindliche Pol der Nadel ruft demnach in dieser durch Vertheilung den ihr entgegengesetzten Pol hervor, und wird hierdurch auf gleiche Weise verzögert, als durch die Reibung auf einer Stahlspitze, ohne den auf andern Bedingungen beruhenden Isochronismus der Schwingungen aufzuheben. Diese Erzeugung des Magnetismus geschieht übrigens in jedem Puncte, über oder neben welchem sich die Nadel befindet, und die Wirksamkeit der Metalle wird daher so viel stärker seyn, je näher sie dem Magnete sind, und je gröfser die Kraft dieses lezteren ist. Schwache Nadeln werden daher ungleich langsamer verzögert, als starke [2]).

2) Noch ungleich auffallender sind die Erscheinungen des Magnetismus durch Rotation. Seit 1818 suchte nämlich Peter Barlow das von ihm vorgeschlagene Verfahren, den Einflufs grofser Eisenmassen auf die Schiffscompasse durch eine in gehörige Entfernung von den Nadeln gestellte

[1]) Gilb. Ann. LXVIII. p. 271.
[2]) Gilb. Ann. LXXXIII. p. 203.

runde Eisenplatte zu compensiren §. 190, noch mehr zu vervollkommnen, weil er wahrgenommen hatte, dafs die Polarität der Scheiben durch Rotation zunahm. Er stellte daher Veruche mit grofsen Eisenmassen an, welche um ihre Axe gedrehet wurden, und hierdurch eine mit der Schnelligkeit der Umdrehung zunehmende magnetische Kraft und veränderte Polarität erhielten [1]). Arago suchte dieses Verfahren dazu zu benutzen, um mit Sicherheit die Kraft der Magnetnadel durch die Gröfse der Ablenkung zu messen, welche eine mit gegebener Geschwindigkeit gedrehete eiserne Scheibe in ihnen erzeugte [2]). Zugleich entdeckte derselbe aber den merkwürdigen Einflufs, welchen namentlich eine um eine verticale Axe gedrehete horizontale Kupferscheibe auf eine über ihr befindliche Deklinationsnadel ausübt. Ist nämlich die leztere durch ein Gehäuse gegen jeden Luftzug völlig gesichert, und die Kupferplatte unter ihr wird schnell gedrehet, so weicht die Nadel in der Richtung der Umdrehung um mehrere Grade ab, und wird bei fortdauernder gleichmäfsig schneller Drehung zulezt bei einem gewissen Abweichungswinkel stationär; ist aber die Einwirkung stark, und die Drehung schnell, so wächst der Ablenkungswinkel nicht nur, sondern die Nadel wird zulezt ganz herumgeführt, und geräth selbst in eine schnelle Drehung [3])

Diese interessanten Versuche sind seitdem sehr häufig wiederholt. Gleich anfangs geschah dieses durch Seebeck [4]) namentlich mit der Abänderung, dafs er eine vertical gehaltene runde Kupferplatte um eine horizontale Axe drehete, und eine auf die Ebene der Scheibe in verschiedenen Puncten perpendiculär gerichtete Deklinationsnadel beobachtete. War die Spitze der Nadel gegen das Centrum der Scheibe gerichtet, so zeigte sich kein Einflufs; rückte dieselbe aber bis etwa in die Mitte des Halbmessers derselben, so fand eine langsame, aber stets gleiche Ablenkung nach einer Seite, und wenn sie noch weiter bis nahe der Peripherie gegenüber gerückt wurde, nach der entgegengesetzten statt, gleiche Richtung der Umdrehung vorausgesetzt, denn eine Umkehrung derselben gab entgegengetzte Resultate.

---

[1]) Phil. Trans. 1825. p. 317.
[2]) Ann. Chim. et Phys. XXX. p. 263.
[3]) Ann. Chim. et Phys. 1825. Mars. p. 325.
[4]) Poggendorff Ann. III. p. 311.

Gleich anfangs wurden die Versuche gleichfalls in London durch Herschel und Babbage wiederholt [1]), und zwar in der Art, dafs sie das anfängliche Verfahren umkehrten. Sie stellten nämlich einen starken Hufeisen-Magnet auf eine Maschine so, dafs er um eine zwischen seinen beiden Füfsen liegende verticale Axe schnell gedrehet werden konnte, und hingen über diesen die zu prüfenden Metallscheiben beweglich auf. Wirklich zeigte es sich, dafs die lezteren bei schneller Umdrehung des ersteren gleichfalls in zunehmend schnellere Umdrehung geriethen. Die Metalle, bei denen sie diese Eigenschaft prüften, waren Kupfer, Zink, Silber, Zinn, Blei, Antimon, Quecksilber, Gold, Wismuth und solche Kohle, wie in den Gasbereitungs-Anstalten aus dem Leuchtgase abgesetzt wird. Um die verhältnifsmäfsige Stärke der Wirkung zu prüfen wurden ganz gleiche Scheiben verfertigt, und bei gleich schneller Drehung des Hufeisenmagnetes die Geschwindigkeiten ihrer Rotationen gemessen, wonach sie vom stärksten Kupfer und Zink zum Zinn, Blei, Antimon und Wismuth, lezteres sehr schwach, übergehen. Zur Controle dieser Versuche wurden die nämlichen Scheiben unter einer astatischen Nadel umgedrehet, und den vorigen ganz gleiche Resultate erhalten, mit der einzigen Ausnahme, dafs nach dem lezteren Verfahren das Zink in seiner Wirksamkeit über dem Kupfer stand.

Arago hatte schon entdeckt, dafs die Kupferscheiben, wenn sie vom Centrum aus nach dem Umfange eingeschnitten werden, an Kraft sehr verlieren. Herschel und Babbage fanden dieses bestätigt, und machten daneben die neue Erfahrung, dafs die ursprüngliche Kraft wiederhergestellt wurde, wenn man die Einschnitte wieder zusammenlöthete, selbst mit einem Metalle, welches für sich nur einen geringen Einflufs des Magnetismus zeigte. Das Verhältnifs des Abstandes zur Stärke der Wirkung wurde nächstdem untersucht, ohne jedoch ein genaues Resultat zu erhalten; es schien dasselbe zwischen dem quadratischen und cubischen zu liegen. Christie bestätigte die hier beschriebenen Resultate, und will noch aufserdem gefunden haben, dafs bei einer dicken Kupferplatte unter einem kleinen Magnete die bewegende Kraft der 4ten Potenz des Abstandes proportional abnimmt, bei gröfseren Magneten und kleineren Scheiben dagegen zwischen der 2ten und 3ten.

[1]) Edinb. Journ. of Science. N. VII. p. 13.

Hinsichtlich der Masse der Metallscheiben setzt er ihre Wirksamkeit dem Gewichte derselben proportional, worüber Seebeck's oben erwähnte Bestimmungen gewifs genauer sind, dessen Erklärung dieser Phänomene übrigens mit der von den englischen Physikern gegebenen völlig übereinstimmt [1]). Daraus folgt dann auch, dafs eine eiserne Scheibe zwischen der kupfernen und der Nadel nothwendig die Wirkung aufheben mufs, wie denn überhaupt eine solche die angegebenen Erscheinungen nicht wohl zeigen kann, weil sie in der Regel nie frei von bleibendem Magnetismus ist, und dieser daher nicht so leicht als vorübergehender in ihr hervorgerufen wird.

3) Wenn geringe Mengen von Eisen oder Nickel mit andern Metallen verbunden sind, so dafs diese von kleinen, aber starken Magneten schwach angezogen werden, ohne bleibenden Magnetismus zu erhalten, so nehmen sie unter dem Einflusse von zwei starken magnetischen Polen eine verschiedene, während des Versuches sich nicht ändernde Polarität an. Diese durch mich selbst gemachte Entdeckung [2]) ist nachher durch Seebeck vollständig untersucht, und auf die allgemeinen Gesetze der Polarisirung zurückgebracht [3]), auch hat Becquerel [4]) ähnliche Erscheinungen wahrgenommen. Wird ein Draht ab aus einer solchen schwachen Legirung, z. B. Messingdraht, über einem starken Magnetstabe SN von mindestens 12 Z. Länge und 1 Quadratzoll Querschnitt an Fäden von ungezwirnter Seide so aufgehangen, dafs er in einem Abstande von 1 Lin. bis 1 Zoll über ihm horizontal schwebt, und das eine Ende des Drahtes sich über dem Ende des Magnetstabes befindet, wobei die Länge von jenem keinen bedeutenden Unterschied macht, so zeigt sich weder Anziehung noch Abstofsung, aufser wenn der Gehalt an Eisen oder Nickel bei den Drähten etwas gröfser und der Magnetstab sehr stark ist, in welchem Falle erstere zuweilen polarisch werden, und sich über den Stäben mit den Axen parallel einstellen. Nähert man dagegen dem Ende des Drahtes a, wenn lezterer mit der Axe des Stabes einen Winkel von etwa 30° oder weniger bildet, den freundschaftlichen Pol, so wird dasselbe mit einer der Menge des enthaltenen Eisens oder Nickel's proportionalen Kraft

Fig. 221] Fig. 222]

1) Phil. Trans. 1825. p. 317 und 467.

2) Poggendorff Ann. VI. p. 361.

3) Ebend. X. p. 203.

4) Ann. Chim. et Phys. 1827. Dec.

angezogen und stellt sich nach einigen Oscillationen zwischen beiden Polen ein. Nähert man dagegen diesem Ende den gleich-Fig. 223] namigen Pol eines andern Magnetes, oder besser, bringt man zuerst den Draht über dem Magnetstabe zur Ruhe, beider Axen einander parallel, und hält dann über das Ende a des Drahtes einen gleichnamigen Pol, als derjenige des unteren Stabes ist, so wird das Ende a abgestofsen, und der Draht nimmt nach einigen Oscillationen eine feste Stellung an, so dafs seine Axe einen Winkel von 20 bis 40 Graden mit der Axe des Magnetstabes bildet. Auch hierbei ist die Stärke der Abstofsung und die geringere Menge der zum festen Einstellen erforderlichen Oscillationen dem Gehalte an Eisen oder Nickel proportional. Für beide Erscheinungen ist es gleichgültig, ob man den Pol des zweiten Magnetstabes von oben oder von der Seite nähert, auch macht die Richtung nach den Weltgegenden durchaus keinen Unterschied.

Bei der Wiederholung dieser, von mir nur an einer einzigen Sorte Messingdraht beobachteten Erscheinungen durch Seebeck mit einer Menge Legirungen und auch mit Glasröhren, in welchen Eisenfeilicht enthalten war, mit Anwendung von noch wirksamern Magnetstäben, ergab sich nicht allein evident, dafs blofs Legirungen mit Eisen oder Nickel, und Eisenfeilicht eine solche Polarität annehmen, sondern Seebeck entdeckte auch sofort die Ursache dieser Erscheinungen. Die fein vertheilten Eisentheilchen in den Metallen stehen nämlich unter einander nicht in einem solchen Zusammenhange, dafs eine durch die ganze Masse des Drahtes gehende Polarität erzeugt werden kann, sondern die dem wirksamsten Theile des Magnetstabes am nächsten liegenden Eisenpartikelchen nehmen eine transversale Polarität an, d. h. die dem unteren magnetischen Pole zunächst liegenden oder zugewandten Theile werden entgegengesetzt magnetisch, die entfernteren oder die abgewandten dagegen werden gleichnamig magnetisch, und indem die ersteren Anziehung, die lezteren aber Abstofsung erleiden, kommen beide entgegengesetzte Kräfte mit einander in Conflict, bis der Draht diejenige Stellung erhält, in welcher das Gleichgewicht besteht.

Die Zahl der Körper, welche bei einer nur geringen Menge vorhandenen Eisens Polarität annehmen, ist nach Seebeck bedeutend grofs, nämlich: 1) Alle untersuchte Kupferdrähte, 2) alle Platindrähte und Bleche, auch der Platinsalmiak; 3) eine gegossene Stange Speifskobalt, welche

pothese auf, Elektricität und Magnetismus seyen dem Wesen nach gleiche Potenzen, und jede Volta'sche Säule zugleich ein bipolarer Magnet; allein alle Versuche, an dieser Säule unmittelbar magnetische Polarität, oder eine polare Richtung derselben durch den tellurischen Magnetismus wahrzunehmen, führten durchaus zu keinem, oder vielmehr zu einem der Behauptung widerstreitenden Resultate.

Die wichtige Entdeckung, welche Oersted im Jahr 1820 machte, bestand darin, dafs die Magnetnadel über und unter dem Drahte, welcher die beiden Pole einer Volta'schen Säule mit einander verbindet, regelmäfsige Bewegungen erhält. Die höchst interessante Thatsache wurde allgemein mit grofser Begierde ergriffen, und die zahlreichen Versuche führten sehr bald zu der Ueberzeugung, dafs jeder von der Elektricität durchströmte Leiter zu einem Magnete von einer eigenthümlichen Art werde, dessen Gesammtverhalten seiner Mannigfaltigkeit ungeachtet sich übrigens eben so leicht und consequent auf die anfänglich beobachtete Erscheinung zurückbringen läfst, als das Verhalten der elektrischen Säule auf den Volta'schen Fundamental-Versuch.

§. 195.

Wenn man zwei durch einen Leiter der zweiten Classe getrennte Platten Kupfer und Zink, welche sonach als Elektromotore mit der zwischen ihnen befindlichen Flüssigkeit eine einfache Volta'sche Kette bilden, durch einen Metalldraht mit einander verbindet, so dafs nach Volta's Ansicht die Elektricität durch diesen vom Kupfer zum Zinke strömt und das aufgehobene Gleichgewicht durch die Flüssigkeit wieder hergestellt wird, so erzeugt die den Draht durchströmende Elektricität in demselben seiner ganzen Länge nach einen Magnetismus eigener Art, durch welchen eine Magnetnadel nicht sowohl polarisch angezogen und abgestofsen, als vielmehr mit ihrer Nordspitze zum Umlaufen um denselben nach einer Richtung, mit der Südspitze in der entgegengesetzten vermogt wird. Ist daher ein solcher Draht in der Richtung von Nord nach Süd in irgend

einem Theile horizontal ausgespannt, wie auch immer vor oder hinter diesem geraden Theile seine Krümmungen seyn mögen, und strömt die positive Elektricität vom Kupfer aus durch ihn in dieser nämlichen Richtung, so wird eine horizontal unter ihm befindliche Magnetnadel mit ihrer Nordspitze nach Osten abgelenkt werden, über ihm nach Westen, eine in verticaler Ebene bewegliche, und mit ihm parallele wird an seiner östlichen Seite mit der Nordspitze aufwärts, an der westlichen herabwärts geneigt werden. Vereinigt man alle diese vier Bewegungen, oder ist eine Nadel so aufgehangen, dafs sie dieselben insgesammt nach einander machen kann, so bemerkt man an ihr das Bestreben, mit der Nordspitze um den Draht von West nach Ost, dann aufwärts und oben wieder von Ost nach West und demnächst herabwärts, also ganz herumzulaufen, woraus von selbst folgt, dafs die Südspitze eine ähnliche Bewegung in entgegengesetzter Richtung zu machen getrieben wird. Führt man den so durchströmten Draht lothrecht herabwärts, so umkreiset ihn die Nordspitze von Ost durch Süd, West, Nord und wieder nach Osten zurück. Die ersteren Bewegungen werden vermindert, wenn die Axen des Drahtes und der Nadel einen Winkel mit einander bilden; diese Verminderung ist der Gröfse des Winkels proportional, und die Ablenkung verschwindet, wenn lezterer bis zu 90 Graden wächst. Wird statt einer einfachen Kette eine grofsplattige zusammengesetzte Säule angewandt, so sind die Erscheinungen gleich bei einem vom Zinke zum Kupfer führenden Drahte, im entgegengesetzten Falle aber umgekehrt, wie daraus von selbst folgt, dafs dann die Strömung der positiven Elektricität vom Zinke aus zum Kupfer stattfindet. Alle vom elektrischen Strome durchströmte Körper zeigen die nämlichen Erscheinungen, auch lassen sich die, der Bequemlichkeit wegen auf den Strom einer einzigen Elektricität bezogenen, Erscheinungen leicht auf die Theorie von zwei

neben einander strömenden Elektricitäten übertragen, und werden insgesammt mit dem Namen *Elektromagnetismus* bezeichnet.

Zur Erzeugung des Magnetismus genügt ein jeder elektrischer Strom auch von der geringsten Spannung, jedoch sind die Wirkungen der Menge der strömenden Elektricität direct proportional. Man wendet daher für diesen Zweck allezeit nur einfache Ketten an, welche aus zwei Elektromotoren, Kupfer und Zink, und einem wirksamen Leiter der zweiten Classe bestehen. Es sind daher unter den §. 174 beschrie-
Fig. 224] benen Apparaten folgende am brauchbarsten: 1) zwei gerade Platten k k; z z, welche durch eine stark benetzte Tuchscheibe f f getrennt auf ein isolirendes Gestell m gelegt, und mit einem mäßsigen Gewichte beschwert werden. An jede der Platten ist ein dünner übersilberter Kupferdraht (sogenannter Silberdraht) d d; e e von beliebiger Länge gelöthet, um diese zu jedem einzelnen Apparate hinzuleiten, und dadurch den Kreislauf der Elektricität herzustellen. Um überhaupt elektromagnetische Erscheinungen hervorzubringen genügen Platten von einem Quadratzoll Fläche, man kann sie aber bis zu solchen von mehreren Quadratfuſs Inhalt vergröſsern.

2) Wollaston's Kastenapparat ist für diese Versuche
Fig. 225] vorzüglich geeignet. Ein kupferner Kasten A von beliebiger Gröſse, wie §. 174 beschrieben ist, wird auf ein Brett oder einen Tisch gestellt, auf welchem zugleich zwei Träger m n; m′ n′ stehen, oben bei n; n′ mit einer Gabel versehen, damit in diese die Glasröhre gelegt werden kann, von welcher die Zinkplatte B vermittelst kleiner Häkchen α; α' herabhängt. Diese Zinkplatte ist gerade so groſs, daſs sie in den Kasten herabgelassen dessen Wände nirgend berührt, wird nur dann in die Säure des Kastens herabgesenkt, wenn der Kreis der Volta'schen Kette geschlossen werden soll, und hängt in den Zwischenzeiten so über dem Kasten, daſs die herabflieſsende Säure in diesen fällt.

3) Pepys's gewundener Apparat §. 174 N. 9 ist für diejenigen Versuche vorzüglich anwendbar, zu denen ein starker elektrischer Strom erfordert wird. Auch hierbei hängt man den aus beiden spiralförmig um einander gewundenen, übrigens aber sich nirgend berührenden, Metallplatten bestehenden Cylinder über das mit der Flüssigkeit gefüllte Gefäſs, und läſst ihn bloſs für die Zeitdauer der Beobachtung, meistens vermittelst eines Flaschenzuges,

in dieselbe herab, um das Zerfressenwerden des Zinkes zu mindern.

Jeder dieser drei Apparate kann soweit vergröfsert werden, dafs er für alle bis jezt bekannte elektromagnetische Erscheinungen genügt. Verlangt man indefs für neue Entdeckungen aufsergewöhnliche elektrische Wirkungen, so läfst sich Wollaston's Apparat durch Verbindung mehrerer Kasten bis zu jeder beliebigen Stärke vergröfsern, oder man kann einen von den beschriebenen Hare'schen anwenden.

Als flüssiger Leiter dient für schwächere Wirkungen am besten Salmiaksolution, welche durch den Gebrauch nicht verdirbt, sondern allezeit zu neuen Versuchen aufgehoben werden kann. Ungleich wohlfeiler und wirksamer ist indefs verdünnte Säure, und kann für diese Versuche füglich die §. 174 angegebene stärkere Mischung angewandt oder sogar noch concentrirter genommen werden.

Um den Oersted'schen Fundamentalversuch möglichst einfach anzustellen darf man nur den willkührlich gekrümmten und gewundenen Verbindungsdraht ab der beiden Pole Fig. 226] in einer gewissen Länge gerade ausspannen. Ist dann die Richtung desselben von Nord nach Süd, und die Strömung der Elektricität vom Kupfer zum Zink in derjenigen Richtung, welche der Pfeil angiebt, so wird die unter ihm mit paralleler Axe stehende Nadel NS bei der Schliefsung der Kette nördliche, die über ihm an einem Faden herabhängende Nadel N'S' dagegen westliche Abweichung erhalten.

Unter den verschiedenen Apparaten für elektromagnetische Versuche ist ohne Zweifel derjenige, welchen Ampère [1]) für die gesammten Erscheinungen angegeben hat, bei weitem der zweckmäfsigste. Inzwischen ist derselbe kostbar und weitläuftig zu beschreiben, weswegen ich mich mit der Angabe einzelner, für die wichtigsten Versuche Fig. 227] bestimmter begnüge. Auf dem etwa 18 Z. langen und 8 Z. breiten Brette ab werden die beiden Glassäulen v; v' befestigt welche oben die messingnen Fassungen l; l' haben, um zwischen zwei schmale Streifen dieses Metalles einen beliebigen Draht, Metallstab, eine Röhre oder einen sonstigen Körper festzuklemmen, durch welchen der elektrische Strom geleitet werden soll. Die Drähte Zβe; Kδe', welche vom Kupfer und Zink ausgehen, und in die mit

[1]) Ann. de Chim. et Phys. XXVI. p. 390.

Quecksilber gefüllten Vertiefungen e und e′ tauchen, sind an sich deutlich. Von den messingnen Fassungen hängen aus kleinen mit Quecksilber gefüllten Vertiefungen f und f′ die Drähte α und γ herab, und sind unten in eben jenes Quecksilber gesenkt, um die ununterbrochene Leitung durch den zwischen l und l′ gelegten Körper herzustellen. Ein aus 4 Glasscheiben in einem hölzernen Rahmen g g′ bestehender Kasten, dessen oberer Rand mit weichem Leder eingefafst ist, um die zwei, drei oder vier Glasscheiben n und n′ verschiebbar darauf zu legen, schützt gegen den Einflufs des Luftzuges. Durch den Zwischenraum zwischen diesen Glasscheiben hängt ein ungezwirnter Seidenfaden herab, und trägt eine genau balancirte Magnetnadel, welche auch eine doppelte, nach Nobili's Angabe §. 198 seyn kann, wenn kleine magnetische Kräfte gemessen werden sollen. Zum gewöhnlichen Gebrauche dient am besten eine aus einem zugespitzten Stücke Uhrfeder verfertigte, und in der Mitte durchbohrte, welche sehr leicht sowohl in horizontaler als auch in verticaler Ebene beweglich ist. Mit dieser läfst sich das Umlaufen der Nordspitze um einen horizontalen Draht leicht nachweisen, wenn man sie unter oder über denselben horizontal und an beiden Seiten in einer horizontalen Ebene, allezeit beider Axen parallel, aufhängt.

Mit diesem Apparate kann auch die Wirkung des verticalen Leiters auf die Spitze der Magnetnadel beobachtet werden, wenn man einen Draht in das Quecksilber in e′ einsenkt, an l′ festbindet, dann vertical durch den Zwischenraum zwischen den deckenden Glasscheiben durchführt, und zum Zinkpol zurückleitet. Da sich der Glaskasten auf dem Brette a b verschieben läfst, der ganze Apparat aber entweder auf Füfsen oder auf einem hölzernen runden Tischchen ruhet, so kann man denselben durch alle Grade im Kreise herumdrehen, also die Nordspitze der gewöhnlichen Nadel dem Drahte in jedem Winkel nähern, und dabei wird man die merkwürdige Erfahrung bestätigt finden, dafs jeder Pol der Magnetnadel in jeder Richtung gegen den verticalen Draht die nämliche und gleich starke Ablenkung zeigt, so dafs man also nicht anders sagen kann, als *die Nadelspitze läuft um den Leitungsdraht mit gleicher Stärke in einem ganzen Kreise.*

Wenn der Nordpol der Nadel unter dem Leitungsdrahte östlich abweicht, die Strömung der elektricität vom Kupfer aus von Norden nach Süden angenommen, dagegen westlich,

wenn die Strömung die umgekehrte ist, so folgt hieraus von selbst, daſs die Abweichung geringer seyn muſs, wenn im ersteren Falle die Nadel nach Osten hin im zweiten nach Westen hin einen Winkel mit dem Drahte bildet. Denkt man sich, wie die östlich abgelenkte Magnetnadel nach Umdrehung des Apparates um 180 Grade, oder durch entgegengesetzte elektrische Strömung die westliche Abweichung erhält, so folgt aus dieser entgegengesetzten Bewegung der Nadel, daſs sie völlig ruhen muſs, wenn ihre Axe die des Leitungsdrahtes unter einem Winkel von 90 Graden schneidet. Aus einer genauen Berücksichtigung des Fundamentalversuches folgt ferner, daſs die Spitze der Magnetnadel keine Abweichung erhalten kann, wenn sie genau zwei rechte Winkel bildend sich unter oder über dem Leitungsdrahte befindet. Ist sie dagegen mit ihrer Axe auf seine Axe lothrecht gerichtet, so wird sie nach der Verschiedenheit der Strömung aufwärts oder abwärts bewegt werden.

Die Stärke der Abstoſsung, welche die Nadel durch den Magnetismus des Leiters erleidet, ist der Kraft des lezteren proportional, und wird theils durch die Menge der erzeugten Elektricität, theils durch die Leitungsfähigkeit des Leiters bedingt. Ist der Körper, welcher von der Elektricität durchströmt wird, ein vollkommener Leiter derselben, so ist die erzeugte magnetische Kraft der Menge der strömenden Elektricität proportional, weswegen man auch die Magnetnadel als Werkzeug gebraucht, diese Menge zu messen; ist aber der Leiter nicht vermögend, alle Elektricität zu leiten, so kommt die Leitungsfähigkeit desselben als Bedingung hinzu, z. B. wenn zwei groſse Platten durch einen sehr dünnen Draht verbunden werden. Meistens wird die Stärke der magnetischen Kraft aus der Gröſse des Ablenkungswinkels der Magnetnadel bestimmt, wobei aber derjenige zur Messung dient, welchen die Nadel im Stillstande bildet; denn bei starker elektrischer Erregung werden kleinere Nadeln oft ganz herumgeführt, ja es ereignet sich nicht selten, daſs sie bei plötzlicher Schlieſsung der Kette mehrmals im Kreise umgeschwungen werden. Uebrigens wirkt die abstoſsende Kraft im verkehrten Verhältnisse des perpendiculären Abstandes des elektrischen Stromes von den Polen der Magnetnadel [1].

Die erwähnten elektromagnetischen Erscheinungen wer-

[1]) Vergl G. G. Schmidt in Gilb. Ann. LXX. p. 249. Biot Précis élém. Par. 1824. T. II. p. 707. Kämtz in Schweigg. J. XXXVIII. 100.

den nicht blofs durch Metalldrähte hervorgebracht, sondern durch alle Substanzen, welche den elektrischen Strom hinlänglich leiten. Lezteres geschieht indefs durch keine Classe von Körpern so vollständig, als durch die Metalle; man mufs daher für Versuche mit schlechteren Leitern eine zusammengesetzte grofsplattige Säule anwenden, deren Wirkung übrigens bei vollkommenen Leitern geringer ist, und erhält nicht leicht andere elektromagnetische Erscheinungen durch dieselbe, als eine gröfsere oder geringere Ablenkung der Magnetnadel. Der Zustand der Festigkeit und Flüssigkeit hat nach Davy [1]) auf die Erregung des Magnetismus gar keinen Einflufs, sondern blofs das elektrische Leitungsvermögen.

§. 196.

Dafs die in den Verbindungsdrähten der Volta-schen Säule erzeugte, eine Abweichung der Magnetnadeln bewirkende, Kraft ganz eigentlicher Magnetismus, und mit demjenigen seinem Wesen nach identisch sey, welcher im Stahle bleibend hervorgerufen wird, zeigt sich augenfällig durch das Anhängen des Eisenfeilichts an denselben. Hieraus folgt dann aber nicht blofs, dafs solche magnetisch gemachte Leiter auf gleiche Weise durch genäherte Magnete beweglich seyn müssen, als sie selbst bewegend auf Magnetnadeln wirken, sondern auch dafs mit Rücksicht auf die Circular-Polarität der Leitungsdrähte eine den Gesetzen der magnetischen Anziehung und Abstofsung angemessene Wechselwirkung zwischen den eigentlichen Magneten und diesen Leitungsdrähten, so wie zwischen den lezteren unter einander stattfinde. Endlich aber müssen die Leitungsdrähte als wirkliche Magnete dem Einflusse des tellurischen Magnetismus unterworfen seyn.

Das Anhängen des Eisenfeilichts an die Verbindungsdrähte der Pole einer Volta'schen Säule wird bei etwas stärkeren Apparaten leicht beobachtet. Zwei Kupfer- und Zinkplatten, jede von einem Quadratfufs Flächeninhalt,

---

[1]) Phil. Trans. 1821. II.

durch eine mit etwas starker Säure getränkte Tuchscheibe mit einander verbunden, zeigen dieses Phänomen schon genügend, bedient man sich aber stärkerer Elektromotore, so ist die Erscheinung sehr auffallend. Nähert man einem solchen Drahte Eisenfeilicht auf etwas Papier, so wird dasselbe schon aus meſsbarer, jedoch geringer, Entfernung angezogen, noch besser aber, wenn man den Draht in das Eisenfeilicht herabsenkt, und etwas bewegt, dann aber das Papier wegnimmt. Das Eisenfeilicht hat sich dann, auf der ganzen Oberfläche bis zur Dicke von 0,5 bis 1,5 Lin. angelegt, und hängt so lange fest, als die Verbindung der Pole dauert, fällt aber augenblicklich herab, wenn man diese aufhebt. Eine eigene Structur dieses Ueberzuges habe ich nie wahrgenommen, vielmehr scheint mir das Eisenfeilicht an allen Puncten, und überall gleichmäſsig dick anzuhängen.

Daſs der elektrische Leitungsdraht durch einen gewöhnlichen Magnet beweglich seyn müsse, liegt so sehr in der Natur der Sache, daſs es nicht bezweifelt werden konnte, und die Aufgabe bloſs darin bestand, ihn eben so leicht beweglich zu machen, als die Magnetnadel. Dieses etwas schwierige Problem ist inzwischen durch die Bemühungen der Physiker und Künstler auf so vielfache Weise gelöset, daſs ich nur einige der einfachsten Apparate beschreiben darf. Um zu sehen, wie der bewegliche Leitungsdraht von den beiden Polen eines Magnetes nach verschiedenen Seiten
Fig. 228] angezogen und abgestoſsen wird, befestigt man auf dem etwas starken Brette AB die rechtwinklich gebogene Glasröhre cba, und versieht diese am äuſsersten Ende mit dem kleinen Gefäſse m, welches zur Aufnahme von etwas Quecksilber bestimmt ist. Diesem lothrecht gegenüber im Brette befindet sich ein zweites Gefäſs n zu gleichem Zwecke. In beide sind die zwei Enden eines wiederholt gekrümmten Kupferdrahtes gesenkt, welcher an dem in s und f befestigten ungezwirnten Seidenfaden r leicht beweglich ist. Der Draht tritt nämlich aus dem oberen Quecksilbergefäſse m mit seiner ersten Krümmung e, geht herab bis f, wird dann in den Kreis dihg gebogen, und ehe dieser vollständig schlieſst, mit einem seidenen Faden zusammengehalten, dann in das Quadrat lop geformt, dessen lezte Biegung an den Kreis, ohne ihn zu berühren, gleichfalls mit einem Seidenfaden festgebunden ist, bis endlich das lezte Ende p in das Gefäſs n lothrecht herabgeht. Werden dann in die beiden kleinen Gefäſsen die mit den Polen verbundenen Drahtenden z und k gesenkt, so durchströmt die Elektricität den be-

weglichen Draht in allen seinen Krümmungen, und es zeigt sich durch einen genäherten Magnet, auf welche Weise er in allen diesen mit Rücksicht auf ihre verschiedenen Richtungen gleichmäſsig magnetisch ist.

Die auffallende Erscheinung, daſs die Magnetnadel rund um den durchströmten Leiter der Elektricität läuft, führt zu dem Schlusse, daſs auch lezterer um ersteren kreisen müsse. Faraday [1]) zeigte zuerst die Richtigkeit dieser Folgerung durch einen einfachen Versuch. In die Glas-
Fig. 229] röhre ab wird durch einen Kork von unten herauf ein Stück Eisendraht geschoben, und dann so viel Quecksilber eingegossen, daſs das äuſserste Ende desselben gerade darüber hinausragt. Im oberen Theile des Röhrchens geht durch einen Kork das Ende des einen Verbindungsdrahtes k beider Elektromotore, und trägt ein kleines Häkchen, oder ist selbst in ein Häkchen umgebogen, von welchem ein feiner Platindraht gerade mit seiner Spitze die Oberfläche des Quecksilbers berührt, und vermöge des in ihm erregten Magnetismus um das Ende c des Eisendrahtes kreiset, wenn lezterer mit dem zweiten Elektromotor durch den Draht z verbunden, und der Pol eines starken Magnetes unten an ihn gehalten wird. Aus begreiflichen Gründen wechselt die Richtung des Umlaufens, wenn man einen anderen Pol des Magnetes mit dem Eisenstäbchen in Berührung bringt.

Sinnreich für diesen Zweck construirt ist ferner der durch Schweigger [2]) angegebene Apparat. Ein Cylinder von
Fig. 230] hartem Holze gh wird mit einer rundumlaufenden Rinne rr′ versehen, in welcher Quecksilber enthalten ist. In dieses senkt sich die aus Platin bestehende Spitze a einer sehr leichten, etwa 6 Z. langen und auf der feinen Stahlspitze v vermittelst des verschiebbaren Gegengewichtes n genau balancirten messingnen Nadel kaum mehr als zur Berührung ein. Wird dann durch den Verbindungsdraht p die Elektricität vom einen Elektromotor in das Quecksilber geführt, von da durch die Nadel und die Stahlspitze, den Draht t und dessen Verbindungsdraht q zum andern fortgeleitet, so läuft die Nadel um den Pol des unter dem Cylinder liegenden Magnetes SN. Die Richtung des Umlaufens kann nach dem angegebenen Fundamentalversuche leicht bestimmt werden. Bei diesem Apparate muſs man

---

[1]) Ann. Chim. et Phys. XVIII. p. 337.

[2]) Dessen Journ. N. F. XVI. p. 27.

den Pol verändern, wenn man die entgegengesetzte Richtung des Umlaufen's verlangt; Schweigger hat indefs Fig. 231] einen andern angegeben, bei welchem beide Pole eines starken Hufeisenmagnetes die entgegengesetzten Drehungen zugleich erzeugen, welche dann durch Umkehrung der Leitungsdrähte in die entgegengesetzten verwandelt werden. Da derselbe übrigens nur eine Verdoppelung des eben beschriebenen ist, so wird er durch den bloſsen Anblick der Figur klar werden.

So wie der Leitungsdraht der Elektricität um den Pol eines Magnetes läuft, muſs auch umgekehrt ein beweglicher Magnet den unbeweglichen Leitungsdraht umkreisen. Man erreicht dieses durch kleine, aber starke, Magnetstäbe, welche vermittelst angehängten Platin's im Quecksilber lothrecht schwimmend erhalten werden, und um das Ende eines in dieses Quecksilber getauchten Verbindungsdrahtes beider Elektromotore herumlaufen. Merkwürdiger und interessanter sind aber die wellenartig umkreisenden Bewegungen des Quecksilbers, welche nach den Versuchen von Erman [1], Herschel d. Sohne [2]) und H. Davy [3]) durch gleichzeitige Einwirkung eines Magnetes und der Leitungsdrähte auf Quecksilber hervorgebracht werden. Sie lassen sich auch ohne Anwendung so übermäſsig groſser Elektromotore, als Davy dazu benutzte, auf folgende Fig. 232] Weise hervorbringen. In das Gefäſs XY mit Quecksilber werden die Enden der Leitungsdrähte N und P gesenkt, und somit ist der Kreis der elektrischen Strömung geschlossen. Alsdann hält man einen starken Magnet oder ein Bündel vereinter Magnete AB zur Verstärkung ihrer Wirksamkeit über die Quecksilberfläche in der Nähe des einen Leiters, oder noch besser zwischen beide, wenn sie nicht weiter als etwa 1 bis 2 Zolle von einander abstehen, und beobachtet die nach entgegengesetzter Richtung stattfindenden Strömungen. Um sie besser wahrzunehmen wird etwas gesäuertes Wasser auf das Quecksilber gegossen, in welchem kleine Gasbläschen aufsteigen und durch ihre Bewegung die Umkreisung sichtbarer machen. Kehrt man die Pole des Magnetes um, oder nähert man den oben gehaltenen Pol von unten, so ändern die Strömungen ihre Richtung in die entgegengesetzte. Uebrigens ist auch die-

---

[1]) Gilb. Ann. XXXII. p. 261.

[2]) Phil. Trans. 1824. T. I. p. 162. Edinb. Journ. of Sc. IV. 193.

[3]) Phil. Trans. 1823. T. II. p. 153.

ses Phänomen aus dem Fundamentalversuche des Elektromagnetismus leicht zu erklären; denn wenn man voraussetzen darf, dafs durch den elektrischen Leitungsdraht der Magnetismus in dem umgebenden Quecksilber und Wasser auf gleiche Weise erregt oder ihnen mitgetheilt werde, als der Luft oder dem Raume, worin die abgelenkte Magnetnadel sich befindet, so mufs auch diesen die Umkreisung mitgetheilt werden. Beachtungswerth ist übrigens, dafs diese Flüssigkeiten durch den in ihnen hervorgerufenen Magnetismus auf ähnliche Weise bewegt werden, als eine magnetische Stahlnadel, wozu entweder ein Impuls einer magnetischen Materie oder ein Anhängen derselben an der Masse der Flüssigkeiten erfordert wird. Auch hierbei bringt also der Flüssigkeitszustand keine gänzliche Aenderung hervor.

Auch zwischen den durch elektrische Strömung magnetischen Leitern als eigentlichen Magneten mufs nothwendig gegenseitige Anziehung und Abstofsung stattfinden. Um die anfangs sehr auffallende Thatsache, dafs zwei in gleicher Richtung durchströmte parallele Drähte einander anziehen, bei entgegengesetzter Strömung aber abstofsen, auf den elektromagnetischen Fundamentalversuch zurückzuführen
Fig. 233] mögen a und α die Querschnitte zweier in gleicher Richtung durchströmter Drähte, n s; n′s′ die Richtungen bezeichnen, in denen die Pole der Magnetnadeln unter und über ihnen bewegt werden. Indem hiernach die entgegengesetzten Pole zusammenfallen, so ist aus dem blofsen Anblicke klar, und leicht geometrisch erweislich, dafs sie in horizontaler Ebene beweglich nur dann zur Ruhe kommen können, wenn sie in einer verticalen Ebene parallel über einander sich befinden. Denkt man sich n′ lothrecht unter n, so wird die abstofsende Kraft beider, wodurch α nach β getrieben werden könnte, = o, dagegen aber ist die anziehende Kraft zwischen s und n′ stärker als die abstofsende zwischen s und s′; die anziehenden und abstofsenden Kräfte werden daher nicht früher ins Gleichgewicht kommen, als bis beide durch wechselseitige Anziehung sich in einer verticalen Ebene über einander befinden. Dafs bei entgegengesetzter Strömung Abstofsung stattfinden müsse, ergiebt sich hieraus von selbst. Dieser Satz läfst sich auf gleiche
Fig. 228] Weise durch die Erfahrung bestätigen, wenn man den einen der Leitungsdrähte, welche zu den Quecksilbergefäfschen m oder n führen, an der verticalen Säule v w so herabführt, dafs er mit l o parallel läuft. Ist dann die Strö-

mung in beiden nach gleicher Richtung stattfindend, so wird der lothrechte Draht des Rectangels angezogen, im entgegengesetzten Falle aber abgestofsen werden.

Die Richtung der magnetischen Polarität der Leitungs-
Fig. 233] drähte ist aber nicht geradlinig, wie sie in der Figur durch ns und n's' sich gezeichnet findet, sondern sie umkreiset beide, und zwar unter der angenommenen Bedingung gleichgerichteter Strömung in derjenigen Richtung, welche durch die einem jeden zugehörigen Pfeile angedeutet wird. Wäre also der obere Draht a fest, der untere α aber um ihn beweglich, so würde er um ihn in der Richtung des punctirten Kreises herumlaufen, bei entgegengesetzter Strömung der Elektricität aber in der entgegengesetzten. Ampère hat nach diesem Principe eine Menge sinnreich construirter Apparate erfunden, wodurch dieses anschaulich dargestellt wird.

Unter die interessantesten Versuche gehört hauptsächlich der nur wenigen mögliche, welcher von Davy [1]) mit der grofsen Batterie des Royal Institution, aus 2000 Doppelplatten bestehend, angestellt ist. Als nämlich hierbei die Enden der Verbindungsdrähte beider Pole mit Kohlenspitzen versehen, und einander genähert wurden, so dafs zwischen ihnen ein hell flammender elektrischer Strom zum Vorschein kam §. 176, so wurde auch dieser durch den genäherten Pol eines starken Magnetes auf gleiche Weise als ein sonstiger durch den Strom der Elektricität magnetischer Körper afficirt. Hiernach müfste das elektrische Fluidum selbst magnetisch seyn, oder die durchströmte Luft diente als magnetischer Leiter. Lezteres ist das wahrscheinlichste, da das erstere nicht wohl vorstellbar ist, und aufserdem die Wirkung sich stärker in dichterer Luft zeigte als in verdünnter, wonach also die Mitwirkung der Luft sogar factisch dargethan ist.

Dafs der Leitungsdraht der Elektricität auch dem tellurischen Magnetismus gehorche, folgt von selbst, sobald es als ausgemacht gilt, dafs er zwar nicht zum bipolaren Magnete wurde, welches mit dem Umlaufen des magnetischen Poles um denselben nicht verträglich ist, aber doch ganz eigentlich magnetisch sey. Um auch diese Classe von Erscheinungen auf den Fundamentalversuch zurückzuführen, darf man nur berücksichtigen, dafs in lezterem bei einem in der Richtung von Nord nach Süd durchströmten Leiter

---

[1]) Phil. Trans. 1821. II. Gilb. Ann. LXXI. p. 244.

die unter ihm befindliche Nordspitze der Nadel östliche Abweichung erhalte, folglich unten von dieser Seite abgestofsen werde, wonach also an eben dieser nordpolarer Magnetismus vorhanden seyn mufs. Wird dann ferner berücksichtigt, dafs eben diese Polarität stattfindet, wie der Draht gebogen seyn, und in welcher Richtung nach den Weltgegenden er sich befinden mag, so läfst sich hiernach der Einflufs des tellurischen Magnetismus auf den elektrischen Leiter leicht bestimmen. Wäre also ein solcher in horizontaler Ebene beweglich, so würde er, diese seine Seite nach Nord gekehrt, in der Richtung von West nach Ost zur Ruhe kommen. Es ist indefs kaum möglich, einen horizontalen Draht zugleich von der Elektricität durchströmen zu lassen, und beweglich zu machen; wohl aber kann dieses geschehen, wenn derselbe gebogen wird, ohne sich aus der durch seine Axe gelegten verticalen Ebene zu entfernen. Unter den verschiedenen wirklich ausgeführten Biegungen Fig. 234] ist die im Kreise die einfachste und leichteste. Ist daher ein solcher kreisförmig gebogener Draht mit der feinen Spitze s in einem kleinen, mit Quecksilber gefüllten Becher n beweglich, welcher auf dem leitenden Drahte t t′ ruhet, führt man durch diesen Träger und das Quecksilber im kleinen Becher der Stahlspitze Elektricität zu, welche denselben in der Richtung s q r durchströmt, dann vermöge einer bei s hergerichteten Isolirung zum kleinen Becher d und dem hierin enthaltenen Quecksilber gelangt, in welches das Drahtende f herabgesenkt ist, steht lezteres, bei e zwischen zwei Brettchen festgeklemmt, mit dem zweiten Elektromotor in Verbindung, so mufs vermöge der so stattfindenden elektrischen Strömung die dem Beobachter der Figur zugewandte Seite südpolarisch werden, und bei freier Beweglichkeit sich nach Süden wenden.

Der Magnetismus der elektrischen Leiter ist ohne die Anwendung bedeutend starker Elektromotore nur schwach, und vermag daher in der Regel dieselben mit Ueberwindung der Reibung, des Luftzuges u. s. w. nicht polarisch einzustellen. Man hängt daher solche Apparate meistens an ungezwirnten Seidenfäden auf, bedient sich aber vorzüglich eines sinnreichen Mittels, um die magnetische Kraft durch Vervielfältigung zu verstärken. Würde nämlich der Draht, statt ihn nach einer einzigen Windung nach d aufwärts zu biegen, noch ein oder mehreremale innerhalb des ersten Kreises oder in gleich grofsen Windungen neben diesem herumgeführt, so müfste jede Windung gleiche Polarität

zeigen, und dadurch eine verstärkte Gesammtwirkung erfolgen. Unter den vielen, auf dieses Princip gegründeten Apparaten wird es genügen nur zwei näher zu bezeichnen.

Fig. 235] Sehr instructiv ist zuerst die spiralförmig aus Kupferdraht (sogenanntem Silberdraht) gewundene Scheibe. Man läfst bei der Verfertigung derselben das eine Ende des Drahtes b in der Länge von etwa 2 F. frei, biegt es dann rechtwinklich um, und führt den Draht in einem möglichst kleinen Kreise herum, auf dessen Ebene das freie Ende rechtwinklich steht. Da wo der erste Kreis sich schliefst, bindet man ihn mit einem seidenen Faden so fest, dafs dieser die unmittelbare Berührung der Metalle hindert, führt dann eine zweite Windung um die erste so, dafs man beide mit einem seidenen Faden vereinigt, aber so viel Raum zwischen ihnen läfst, um die dritte Windung mit der zweiten gleichfalls durch einen seidenen Faden verbinden, und zu diesem Ende die Nadel zwischen den beiden ersten durchführen zu können. Auf gleiche Weise fährt man fort, bis die entstehende flache Scheibe einen Durchmesser von 2; 4 oder mehreren Zollen erhalten hat. Eine solche zeigt auch bei mäfsigen galvanischen Ketten so starke Polarität, dafs sie die stärksten Nadeln umzudrehen, und deren Spitze in ihrer Mitte, wo ihr Magnetismus am stärksten ist, festzuhalten vermag. Wie aber ihre Polarität seyn müsse, ergiebt sich von selbst. Strömt nämlich die + Elektricität in das Drahtende a ein, und nach Innen in der Spirale fort, um bei b dem negativen Elektromotor wieder zugeführt zu werden, so mufs die zugewandte Fläche der Spirale nordpolarisch werden, und also den Südpol der Magnetnadel anziehen, sich selbst aber nach Norden wenden.

Fig. 236] Sehr sinnreich construirt ist der von **Raschig**[1]) angegebene mikroelektromagnetische Compafs. Dieser besteht aus einer gemeinen Federspuhle ab oder einem sonstigen möglichst leichten Rohre, worüber feiner, mit Seide übersponnener Draht in schraubenförmigen Windungen dicht neben einander gewunden ist. Die beiden Enden desselben werden an den äufsersten Theilen des Federkieles festgebunden, von dieser Stelle an von der umgebenden Seide entblöfst, und nach unten herabgebogen, um jedes derselben mit einem der Elektromotore durch Festlöthen leitend zu verbinden. Leztere bestehen aus einem 1,5 Z. breiten, 1 Z. hohen und 1,5 bis 2 Lin. tiefen Kästchen fg

1) Gilb. Ann. LXIX. p. 507.

aus dünnem Kupfer, welches an feinen Fäden von dem umwundenen Federkiele herabhängt, und die mit etwas Siegellack auf dem Boden und an den beiden schmalen Seiten ohne metallische Berührung befestigte Zinkplatte e h enthält. An dem Kupfer ist das eine Drahtende b c i, am Zinke das andere a d h festgelöthet. Wird dann eine leitende Flüssigkeit (Salmiaksolution oder Salpetersäurehaltige verdünnte Schwefelsäure) in das Gefäfs gegossen, so geht die Strömung durch den Draht i c b, durch dessen Windungen um den Federkiel, und durch a d h zum Zinke, der Apparat aber wird ein bipolarer Magnet, welcher an dem ungezwirnten Seidenfaden m n k l aufgehangen sich polarisch einstellt. Wie die Lage seiner Pole sey, ist leicht zu ermessen; denn nach der Richtung des elektrischen Stromes durch i c b liegt der Nordpol links, und da die schraubenförmige Windung rechts gewunden ist, so wird also b der Südpol und a der Nordpol seyn [1]).

Der tellurische Magnetismus wirkt zunächst in der durch die Inklinationsnadel gegebenen Richtung auf den Verbindungsdraht der Elektromotore, und zwar auf eine solche Art, als wenn in dieser Richtung der Südpol eines Magnetes von unten genähert würde. Soll daher die um lezteren leicht stattfindende Rotation des Leitungsdrahtes auch durch den tellurischen Magnetismus erzeugt werden, so steht die unverkennbare Schwierigkeit entgegen, dafs lezterer keinen begrenzten Pol darbietet, sondern den Leitungsdraht bei jeder veränderten Lage stets in unveränderter Richtung afficirt. Pohl [2]) hat ausführlich gezeigt, wie man diese Kraft dennoch benutzen könne, um ein partielles Umlaufen des Leitungsdrahtes um die Richtung desselben zu erhalten, und Apparate construirt, welche die Richtigkeit der Theorie durch den Erfolg beweisen [3]).

§. 197.

So wie der Magnetismus des Eisenerzes, Stahl's,

---

[1]) Man fand anfangs Schwierigkeiten in der Bestimmung einer rechts oder links laufenden Windung. Lemonferrand hat zuerst einfach angegeben, dafs die Bezeichnung weder schwierig noch undeutlich seyn kann. Rechts gewunden nämlich heifst, was der gemeinen Schraube gleicht, welche gleichfalls rechts genannt wird, die entgegengesetzte Windung heifst links.

[2]) Gilb. Ann. LXXIV. p. 383. LXXV. p. 269.

[3]) Diese am meisten verwickelte Aufgabe kann nur bei einer vollständigen Behandlung der Lehre des Elektromagnetismus zur Untersuchung kommen.

Nickel's und Kobalt's alle bleibend magnetisch werdende Körper durchdringt, ist dieses auch bei demjenigen der Fall, welcher durch Elektricität hervorgerufen wird, statt dafs die leztere bei ihrer sehr geringen Spannung die dünnsten Nichtleiter zu durchdringen nicht vermag. Hiernach wird durch Vervielfachung der Leitungsdrähte leicht die schon erwähnte Verstärkung des Elektromagnetismus erhalten, welche man hauptsächlich auch zur Auffindung schwächerer elektromagnetischer Wirkungen vermittelst des *Multiplicator's* benutzt. Eben dieses Mittel dient dann auch zur Erleichterung des Hervorrufens von bleibendem Magnetismus in Stahlnadeln, welches vermittelst des elektrischen Stromes jeder Art leicht und mit den bisher erläuterten Phänomenen übereinstimmend bewerkstelligt wird.

Aus welchen Gründen ein wiederholt spiralförmig oder mit parallelen Windungen umgewundener Leitungsdraht verstärkte elektromagnetische Wirkungen zeigen müsse, ist oben angegeben, insofern nämlich der Draht in seiner ganzen Länge gleichmäfsig polarisch wirkt, folglich auch jeder in gleicher Richtung durchströmte, in einer folgenden Windung wiederkehrende Theil die nämliche Wirkung aufs Neue zeigen wird. Schweigger [1]) und Poggendorf [2]) erkannten die Nothwendigkeit dieser Folgerung und gründeten darauf die Construction des *Multiplicators*, welcher im Allgemeinen aus einem mehrfach umwundenen, mit Seide übersponnenen Drahte besteht. Selbst die oben beschriebene Spiralscheibe und Raschig's Compafs sind Multiplicatoren, sollen sie aber ganz eigentlich als solche gebraucht werden, so wird ihre Construction für diese Bestimmung zweckmäfsig eingerichtet. Uebrigens bestehen die Multiplicatoren nach einfacher Anwendung des Princips aus einem durch wiederkehrende Windungen des übersponnenen Drahtes gebildeten Ringe, oder der Draht wird von unten heraufwärts durch ein Klötzchen gesteckt, dann in beliebig vielen Windungen und auch vermehrten Lagen um dieses gewunden, zulezt wieder von oben herab durch das Klötzchen

---

1) Dessen Journ. XXXI. 1. XXXII. 47.
2) Gilb. Ann. LXVII. p. 422.

gezogen, und beide Enden werden dann mit den Elektromotoren verbunden; eine auf die Oberfläche des Klötzchens gesetzte feine Magnetnadel aber zeigt durch ihre Abweichung die Art der elektrischen Strömung und die Stärke des dadurch erzeugten Magnetismus. Statt des Drahtes können auch schmale Streifen von dünnem Kupferblech mit zwischenliegendem Seidenzeuge zu einem dichten Ringe gewunden angewandt werden.

Weil ein jeder elektrischer Leitungsdraht an seiner oberen Seite die entgegengesetzte Wirkung auf die Magnetnadel äufsert, als an seiner unteren, und eben dieses stattfindet, wenn die elektrische Strömung die entgegengesetzte ist, so mufs auch der unter der Magnetnadel rückwärts wieder zurückgeführte Draht auf leztere die nämliche Wirkung äufsern, als der über ihr hingeleitete. Durch dieses Verfahren wird also die magnetische Kraft verdoppelt, und es ist daher am vortheilhaftesten, wenn die Magnetnadel zwischen die Windungen des Drahtes gebracht wird. Nach diesem Princip ist Marianini's Multiplikator construirt [1]. Fig. 237] In einer messingnen, vermittelst dreier Stellschrauben ss's'' auf einer Glasplatte horizontal zu stellenden, etwa 1,5 Z. hohen und 7 bis 8 Z. im Durchmesser haltenden, oben mit einer Glastafel bedeckten Büchse befindet sich ein messingner Rahmen mit zwei geraden Seiten $\alpha\alpha'$; $\beta\beta'$ und zwei gebogenen $\alpha\beta$; $\alpha'\beta'$. Um die lezteren sind die Windungen des mit Seide übersponnenen Drahtes, dessen Enden k und z mit den beiden Klemmschrauben befestigt werden, gewunden, die beiden geraden tragen, die eine das Stück des getheilten Kreises a b, die andere den Träger der Magnetnadel. Leztere ist mit einem Achathütchen versehen, auf einer Stahlspitze möglichst leicht balancirt und trägt den auf ihre Axe perpendiculär gerichteten, aus einem sehr feinen Drahte bestehenden, genau balancirten, Stab m n, dessen Spitze zugleich als Zeiger dient. Der Abstand der Drahtwindungen wird so nahe genommen, dafs die Bewegung der Nadel keine Störungen dadurch erleidet, übrigens wächst die Empfindlichkeit mit der Nähe [2].

Die Aeufserung des Magnetismus beim Verbindungsdrahte der Elektromotore ist auf allen Fall transversal, oder eigentlicher umkreisend, und es folgt hieraus, dafs eine Stahlnadel

---

[1]) Zeitschrift für Phys. und Math. von Baumgartner u. v. Ettingshausen. IV. p. 42,

[2]) Ueber den Multiplicator S. unter andern Schweigg. J. N. R. VIII. p. 100.

parallel laufend mit dem Verbindungsdrahte beider Pole, oder wenn sie selbst diese verbindet, und also selbst vom elektrischen Strome durchströmt wird, nicht magnetisch werden kann. Auf allen Fall könnte auf diese Weise nur ein transversaler Magnetismus erzeugt werden, und auch dieses nur in etwas breiteren Stahlstreifen geschehen. Wird dagegen der elektrische Leitungsdraht über oder unter die Stahlnadel so gelegt, dafs beider Axen einander recht-winklig schneiden, so mufs durch den transversalen (umkreisenden) Magnetismus des ersteren der longitudinale Magnetismus der lezteren hervorgerufen werden. Hierbei sind aber zwei merkwürdige Umstände zu berücksichtigen:

1) Wenn magnetischer Stahl oder ein natürlicher Magnetkies mit einem anderen Magnete dieser Art in Conflict kommt, so wirken blofs beide Magnetismen auf einander, es wird daher der überwiegend stärkere den schwächeren überwinden, und sogar eine Umkehrung der Pole entstehen, so dafs also ein schwächerer, mit einem ungleich stärkeren gleichnamigen zusammengebrachter Pol sofort umgewandelt wird. Wenn dagegen der elektrische Strom den Magnetismus hervorruft, so wirkt auch der stärkste genäherte Magnet nicht auf die hierbei wirksame Elektricität, und es ist daher unmöglich, dafs durch denselben die Hervorrufung des der Regel nach erzeugten Magnetismus gehindert, oder dessen Polarität umgekehrt werden könnte. Ein noch so starker genäherter Magnet kann daher allerdings wohl auf die Stahlnadel unter dem elektrischen Leiter wirken, aber nicht auf die Art des Magnetismus im leitenden Drahte, wie schwach derselbe auch seyn mag, und so mufs ein starker Magnetstab ohne Rücksicht auf die Lage seiner Pole durch den elektrischen Strom auf gleiche Weise polarisch magnetisch werden, als ein Draht von Messing, Kupfer u. s. w. Hierin liegt wohl ohne Zweifel ein bedeutendes Argument gegen die Hypothese von der Identität der Elektricität und des Magnetismus.

2) Bei der Anwendung eines gewöhnlichen Magnetes erzeugt der Nordpol durch Näherung oder Berührung den Südpol und so umgekehrt; bei dem elektrischen Leiter scheint Fig. 238] das Umgekehrte stattzufinden. Bezeichnet nämlich a b den Verbindungsdraht der Elektromotore, durch welchen die Elektricität in dieser Richtung strömt, so erhält nach dem Fundamentalversuche die Nordspitze der Nadel unter demselben östliche Abweichung, mithin ist unter demselben an der linken Seite nordpolarer, an der rechten Seite

lpolarer Magnetismus, welcher auch wirklich die Nord-
tze der Magnetnadel anzieht, und sich in der gewundenen
heibe als solcher offenbart. Wird indess dieser Draht über
Stahlnadel $\gamma\delta$ hingeführt, beider Axen lothrecht auf
ander gerichtet, so wird dieselbe durch den elektrischen
om an der östlichen Seite nordpolarisch, an der westlichen
lpolarisch magnetisch werden. Um diese scheinbare Ano-
lie erklärlich zu finden, muss man überlegen, dass an
sen Seiten des Drahtes kein bleibendpolarer Magnetismus
ttfindet, sondern vielmehr ein beweglicher. Dieses er-
bt sich daraus, dass die Südspitze der Magnetnadel an
ser Seite und die Nordspitze an der andern nicht ange-
gen und festgehalten wird, sondern dass beide unter oder
r dem Drahte hingeführt werden, oder ihn vielmehr
kreisen. Wirklich geben auch zwei nahe bei einander
gende Pole eines Stahlmagnetes ganz entgegengesetzte
39] Resultate. Sind diese z. B. b und c, und wird diesen
Nordspitze der Magnetnadel a genähert, so wird diese
n Nordpole näher rücken, vor ihm und dann vor dem
lpole des andern Magnetes c vorübergeführt, und von
terem scheinbar abgestossen werden. Auch dieses nur
einbare Paradoxon lässt sich nach mechanischen Gesetzen
ht erklären. Es wirkt nämlich die anziehende Kraft des
lpoles c stärker auf die Nadelspitze a, als die abstossende
Nordpols b, wie sich schon daraus ergiebt, dass die
tere rücksichtlich auf die Bewegung in der Richtung
= o wird, wenn a bis in die verlängerte Axe von b rückt,
bei indess die Anziehung von c noch fortdauert, bis die
tze a durch die Anziehung von c und die wachsende
stossung von b bis in die verlängerte Axe von b rückt.
r wird diese Kraft = o, die abstossende von b treibt
selbe daher weiter, bis die vereinte Wirkung von dieser
l die wachsende Anziehung von c ins Gleichgewicht kom-
n, wenn a bis nach d oder noch weiter hin fortgerückt

Die Wirkung zweier nahe bei einander befindlicher
le eines eigentlichen Magnetes ist also gerade die entge-
gesetzte von derjenigen, welche die an beiden Seiten
er oder über einem elektrischen Leiter zum Vorschein
nmenden Polaritäten auf die Spitze einer Magnetnadel
üben [1]). Die Magnetisirung der Stahlnadeln, welche
er unter oder über einen solchen Leiter gelegt sind,
n also nicht aus der Wirkung einer bleibenden Pola-

[1] meine Versuche in Gilb. Ann. LXXI. p. 411.

rität und der Hervorrufung des entgegengesetzten Magnetismus durch diese erklärt werden, weil sie sonst die entgegengesetzte seyn müfste, und kann vielmehr so vorgestellt Fig. 238] werden, als ob der an der linken Seite von a b zum Vorschein kommende nordpolare Magnetismus in der Richtung von West nach Ost den nordpolaren Magnetismus der Stahlnadel $\gamma\delta$ durch Repulsion aufhäufe.

Ein sehr starker elektrischer Strom erzeugt in kürzeren Stahlnadeln und selbst in Stahlblechen oder Scheiben den Magnetismus so, dafs die Polarität auf die eben angegebene Weise hervorgerufen wird, wonach dieselbe daher in Voraus bestimmt werden kann. Meistens aber pflegt man die Wirkung durch vermehrte Windungen des Leitungsdrahtes zu verstärken, und hierbei zeigt sich dann sehr auffallend, dafs die Polarität nach der angegebenen Regel unabänderlich bestimmt werde. Es läfst sich sonach leicht übersehen, welche Polarität in einem Stahldrahte durch die verschieden laufenden Windungen erzeugt werden mufs, womit dann der Erfolg genau übereinstimmt. Stellt man sich nämlich vor, wie die Magnetnadel $\alpha\beta$ unter dem elektrischen Leiter ab bei seiner Richtung von Nord nach Süd und einer in dieser gleichfalls stattfindenden Strömung der positiven Elektricität östliche Ablenkung erhalte, nach eben dieser Seite hin also Zusammendrängung oder Aufhäufung des nordpolaren Magnetismus stattfinde, folglich auch die Stahlnadel $\gamma\delta$ an der östlichen Seite nordpolarisch werden müsse, so ist klar, dafs dieser nämliche Erfolg mit verstärkter Wirksamkeit auch stattfinden werde, wenn man das Ende b des Leitungsdrahtes unter der Stahlnadel durch und rückwärts gekrümmt entweder um die östliche oder westliche Hälfte der Stahlnadel wickelt, denn in beiden Fällen geht durch jedes über der Stahlnadel liegende Theilchen der Windung die Strömung von Nord nach Süd, durch jedes unterhalb derselben aber in entgegengesetzter, und weil die Wirkung des Leitungsdrahtes auf die über ihm liegende Stahlnadel die entgegengesetzte von derjenigen ist, welche er auf die unter ihm befindliche ausübt, so heben sich die entgegengesetzte Strömung und entgegengesetzte Lage wechselseitig auf, so dafs also in der östlichen Hälfte der nordpolare Magnetismus zusammengedrängt wird und hier in allen Fällen der Nordpol zum Vorschein kommt. Führt man also die Windungen des Drahtes b um die östliche Hälfte der Stahlnadel $\gamma\delta$, so erhält man ein *rechts* laufendes Gewinde, werden sie dagegen um die westliche Hälfte geführt, so ist das Gewinde *links*.

Wird endlich das Drahtende b um die östliche, das andere Ende a dagegen um die westliche Hälfte gewunden, wonach also beide rechts gewunden sind, oder ist die Umwindung die entgegengesetzte, also der Draht links gewunden, werden endlich die Enden des Leitungsdrahtes so umgebogen, dafs ihre Axen mit der Axe der Stahlnadel parallel laufen (versteht sich ohne über die Windungen geführt zu seyn), so ergiebt sich die allgemeine Regel: *bei links gewundenen Drähten correspondirt der erzeugte magnetische Pol der erzeugenden Elektricität, bei rechts gewundenen sind beide einander entgegengesetzt.*

Die für die elektromagnetischen Versuche erforderliche, und am besten geeignete Berührungs-Elektricität hat nur eine geringe Spannung, und durchdringt daher den dünnsten Nichtleiter gar nicht, selbst kaum unvollkommene Leiter. Befindet sich daher eine dünne Luftschichte, noch besser etwas Seide oder nur ein Harzfirnifs zwischen zwei Drähten, so können sie bei diesem vorhandenen Zwischenmittel dicht nebeneinander liegen, ohne dafs die durch sie geleitete Elektricität vom einen zum andern übergeht; diese mufs also den leitenden Draht in seiner ganzen Länge durchströmen, der erzeugte Magnetismus dagegen durchdringt diese gesammten Isolatoren ohne eine bis jezt mefsbar gewordene Hinderung. Dieses wichtige Gesetz liegt hauptsächlich bei der Construction der *Multiplicatoren* zum Grunde, und kommt auch bei den vorliegenden Versuchen in Anwendung. Die zu magnetisirenden Stahlnadeln oder Drähte werden daher meistens in Glasröhren eingeschlossen, und die hierher gehörigen Magnetisirungen pflegen durch folgende Hauptversuche erläutert zu werden.

1) Um zu zeigen, dafs der Strom von zwei starken Elektromotoren, oder der Flaschenschlag aus einer stark geladenen Flasche (wobei es mehr auf die Stärke der Ladung als die Gröfse der Batterie ankommt) Stahlnadeln nach dem oben angegebenen Hauptgesetze magnetisch zu machen vermöge, Fig. 240] nimmt man eine Glasröhre c e ; d f von etwa 6 bis 10 Z. Länge, bindet einen Kupferdraht von etwa 0,2 Lin. Dicke bei c fest, und windet ihn links um dieselbe, bis er am anderen Ende d abermals mit einem gewichsten Seidenfaden fest gebunden wird. Verbindet man beide Enden mit den Elektromotoren, oder läfst man den Flaschenfunken durch sie fahren, so wird die in der Figur bezeichnete elektrische Strömung den gleichfalls durch die bekannten Zeichen angegebenen Magnetismus hervorrufen. Bindet man dagegen den

Fig. 241] Draht bei c fest, und führt die Windungen rechts um die Glasröhre, so ist die Stärke der erzeugten Polarität der vorigen gleich, sie selbst aber ist ihr in Beziehung auf die Richtung des elektrischen Stromes entgegengesetzt. Interessanter und belehrender ist der Versuch, wenn man
Fig. 242] zwei Glasröhren neben einander legt, und sie durch die Windungen des nämlichen Drahtes so mit einander verbindet, daſs diese zwischen ihnen sich durchkreuzend bei der einen rechts, bei der andern links gewunden sind. Wird dann in eine jede derselben eine unmagnetische Stahlnadel gelegt, so erhalten beide durch den nämlichen elektrischen Strom an den in gleicher Richtung befindlichen Enden die entgegengesetzte Polarität. Endlich läſst sich durch dieses Mittel ungleich leichter, als durch gewöhnliche Magnete (wenn es durch diese überhaupt auf gleiche Weise möglich ist) und ohne alle Schwierigkeit eine Magnetnadel mit drei Polen magnetisch machen. Zu diesem Ende bindet man
Fig. 243] den Draht a auf der Glasröhre bei e fest, führt die Windungen links bis g fort, bindet hier den Draht fest, und führt ihn in einer Länge von etwa 0,5 bis 1 Z. mit der Axe der Röhre parallel fort nach h, bindet ihn dort abermals fest, und windet ihn dann rechts bis an das Ende der Röhre, wo er bei f abermals festgebunden wird. Der elektrische Strom erzeugt dann die in der Figur angedeuteten Pole, von deren Vorhandenseyn man sich mit einer kleinen Magnetnadel leicht überzeugen kann.

2) Es versteht sich von selbst, daſs die Wirkung des elektrischen Leiters stärker ist, wenn seine Windungen sich möglichst nahe über der Stahlnadel befinden, allein unmittelbare Berührung beider ist keineswegs nothwendig, und dann sogar unzulässig, wenn sie eine Ableitung der Elektricität durch die Stahlnadel zur Folge hat. Die Weite der Röhren für gewöhnliche Versuche beträgt meistens 1 bis 2 Lin., jedoch kann man auch trommelartige Gestelle von 2 F. Durchmesser machen, den Draht herumführen, in die Axe eine Glasröhre mit der Stahlnadel legen und diese durch den elektrischen Strom magnetisch machen, wenn lezterer den in der angegebenen Entfernung umgewundenen Draht durchläuft. Boeckmann [1]) erhielt noch merkliche Magnetisirung, wenn der Leitungsdraht 3 Fuſs von der Stahlnadel abstand, und nach Seebeck [2]) zeigt sich eine Abweichung

1) Gilb. Ann. LXXII. p. 15.
2) Schweigg. Journ. XXXII. 31.

der Magnetnadel bei starker elektrischer Strömung selbst auf 10 F. Entfernung. Die Wirkung muſs ferner zunehmen, je gröſser die Menge der Drahtwindungen ist, inzwischen wird nicht erfordert, daſs dieselben so sehr nahe neben einander sind, sondern sie dürfen immerhin den Abstand einer Linie oder noch mehr haben.

3) Wenn man umgekehrt eine Glasröhre mit Stahldraht umwindet, und den Leitungsdraht der Elektricität durch die Axe der Röhre führt, so sollte man glauben, der so gebildete Stahlcylinder müsse die nämliche Polarität erhalten, welche der Leiter der Elektricität selbst zeigt. Allein dieses ist weder bei einem so gewundenen Cylinder, noch bei einer stählernen Röhre der Fall, wie klein oder groſs auch der Durchmesser beider seyn mag. Wenn man dagegen
Fig. 244] eine Glasröhre (einen Federkiel, hölzernen Cylinder u. s. w) mit einem Stahldrahte umwickelt, so daſs die einzelnen Windungen einander fast unmittelbar berühren, indem man das eine Ende desselben bei e, das andere bei f mit einem starken gewichsten Seidenfaden festbindet, dann den Verbindungsdraht der Elektromotoren a b mit der Axe der Röhre parallel über den Windungen hinführt, und den elektrischen Strom hindurchleitet, so wird aus dem gewundenen Cylinder ein bipolarer Transversalmagnet, dessen Magnetismus Jahrelang dauert, und welcher von oben oder von unten der horizontalen Magnetnadel gleichfalls horizontal und beider Axen parallel laufend genähert, eine gleiche Abweichung als der Leiter selbst bewirkt.

Die zulezt beschriebenen Versuche werden am besten mit einer etwas groſsen, 2 bis 6 Quadratfuſs Belegung enthaltenden Flasche angestellt. Ein einziger Flaschenschlag, wenn er hinlänglich stark ist, vermag die Wirkung im Maximum hervorzubringen, wiederholte Funken verstärken dieselbe kaum, und nach einiger Wiederholung gar nicht mehr.

§. 198.

Der Magnetismus wird ganz allgemein, selbst durch nur geringe elektrische Strömungen, hervorgerufen, so daſs es auffallend ist, wie diese Wirkung so lange verborgen bleiben konnte. Die Magnetnadel ist daher zugleich mit Benutzung des Multiplicators zum feinsten Elektroskope geworden, vermittelst dessen noch allge-

meiner, als früher geschehen konnte, erkannt ist, dafs nicht blofs alle heterogene Körper, sondern auch verschieden modificirte gleiche in der Berührung leicht elektrische Strömungen erzeugen. Um aber auch bei diesen Untersuchungen mit ungewöhnlicher Feinheit zu messen bedient man sich der feinsten Magnetnadeln. Merkwürdig ist es aber, dafs der stärkste Strom der Reibungselektricität nur sehr schwache Spuren des Magnetismus hervorruft, weswegen auch das Vorhandenseyn derselben erst neuerdings erkannt ist.

Um die geringsten Strömungen der Galvanischen Elektricität wahrzunehmen bediente man sich anfangs der Froschschenkel; allein es ist nicht blofs schwierig, diese allezeit von der erforderlichen Reitzbarkeit zu erhalten, sondern sie behalten dieselbe auch nicht lange bei, und aufserdem gehört es unter die sehr zusammengesetzten Operationen, aus den Zuckungen derselben neben dem Vorhandenseyn elektrischer Strömungen auch die Richtung der positiven zur negativen Elektricität zu bestimmen. Obgleich daher dieses Mittel der Auffindung sehr geringer Spuren von Elektricität vielleicht noch immer das feinste seyn mag, so ist doch gewifs, dafs die Magnetnadel demselben an Feinheit nur unbedeutend nachsteht, wenn dieses überhaupt der Fall seyn sollte, an Bequemlichkeit und Sicherheit der Manipulation aber bei weitem den Vorzug verdient. Für sehr feine Messungen bedient man sich indefs nicht der gewöhnlichen, auf Stahlspitzen balancirten Nadeln, sondern man hat auch diese Apparate aufserordentlich verfeinert.

Die Magnetnadel wird nämlich durch den tellurischen Magnetismus in ihre Richtung gezogen. Soll der elektromagnetische Strom sie ablenken, so mufs diese richtende Kraft und aufserdem die Reibung derselben auf der tragenden Spitze überwunden werden (die sehr unbedeutende und bei den feinsten Nadeln kaum in Anschlag zu bringende Trägheit §. 22 nicht gerechnet). Leztere wird verschwindend klein, wenn man statt der tragenden Stahlspitze (Pivot) sie an einem ungezwirnten Seidenfaden, oder noch besser an einem Spinnefaden herabhängen läfst, und überhaupt so construirt, wie §. 187 Fig. 119 beschrieben ist; aber selbst auch der Einflufs des tellurischen Magnetismus kann ganz oder zum Theil aufgehoben werden. Dieses geschieht hauptsächlich durch Anwendung der *astatischen Magnetna-*

del §. 191 oder da diese nothwendig auf einer Axe laufen mufs, deren Reibung dann unvermeidlich ist, durch Verbindung von zwei gleich kräftigen Nadeln mit einander entgegengesetzten Polen, wonach auch Becquerel's *Sideroskop* construirt ist. Ohne alle Künsteleien läfst sich eine solche Vorrichtung herstellen, wenn man zwei Magnetnadeln an
Fig. 245] einer gemeinschaftlichen verticalen Axe befestigt, und auf einer feinen Spitze *a* leicht balancirt. Sind beide gleich stark, und ihre Pole einander entgegengesetzt gerichtet, so mufs die Wirkung des tellurischen Magnetismus gegen die eine die gegen die andere völlig aufheben, und jede wird daher durch die geringste magnetische Kraft abgelenkt werden. Die bei der angegebenen Construction hindernde Reibung läfst sich leicht entfernen, wenn man die verbundenen Nadeln an einem ungezwirnten Seidenfaden aufhängt, wobei dann zu gröfserer Leichtigkeit des Ganzen die Axe aus einem dünnen Stäbchen Fischbein oder nach Nobili aus einem Strohhälmchen bestehen mufs. Der von Lezterem construirte Multiplicator (*galvanomètre à deux aiguilles* genannt) ist aufserdem sehr zweckmäfsig so aufgehangen, dafs sich die untere Nadel zwischen den beiden Seiten der neben einander um einen rectangulären Rahmen in doppelter Lage gewickelten Windungen eines mit Seide übersponnenen Drahtes von 0,2 Lin. Dicke befindet, die andere dagegen über denselben. Indem aber die obere Fläche dieser Multiplicator-Windungen auf die über ihr befindliche Nadel entgegengesetzt wirkt, als die beiden inneren Flächen auf die zwischen ihnen schwebende, die obere Nadel aber entgegengesetzte Richtung hat, als jene, so werden beide Nadeln durch den Magnetismus der gewundenen Drähte bei vorhandener elektrischer Strömung nach der nämlichen Seite abgelenkt, und die Wirkung auf die beiden Nadeln ist daher die dreifache von der eines gewöhnlichen Multiplicators auf eine über ihm befindliche. Die obere Nadel dient dann zugleich als Zeiger. Es steht indefs dieser sinnreichen Construction der Umstand entgegen, dafs die Nadeln, wenn ihre Stärke anfangs noch so gleich ist, nach einiger Zeit ungleich werden müssen, und wenn dann die eine auch nur den geringsten Ueberschufs der Stärke über die andere erhält, so wird sie die Richtung von dieser umkehren, und im Zustande der Ruhe ihren Nordpol allezeit nach Süden gekehrt erhalten und umgekehrt, wodurch aber bekannlich

1) Biblioth. univers. XIX. p. 119.

ihre Stärke zunehmend vermindert werden, oder endlich gar eine Umkehrung der Pole durch den Einfluſs des tellurischen Magnetismus entstehen muſs. Diesem zu begegnen ist kein anderes Mittel, als den Apparat so herzurichten, daſs für den Zustand der Ruhe die obere Nadel umgedrehet werde, damit beide mit ihrer Nordspitze die Richtung nach Norden erhalten.

Vermittelst dieser feinen Apparate ist nicht nur vollständiger, als durch andere Mittel, aufgefunden, daſs alle Körper verschieden elektrisch disponirt sind, und sich also nach ihrer gröſseren oder geringeren Neigung zu einer der beiden Elektricitäten in eine vom stärksten positiv elektrischen zum stärksten negativen in eine Reihe ordnen lassen, §. 173, wovon zwei mit einander in Berührung gebracht, galvanische Wirkungen zeigen, sondern es hat sich auch ergeben, daſs mitunter nur geringfügige Modificationen gleicher Körper eine verschiedene elektrische Disposition hervorrufen. Werden daher z. B. zwei ganz gleiche Bleche Platin an die Enden des Multiplicatordrahtes gelöthet, so zeigen sie in der Berührung keinen Einfluſs auf die Magnetnadel; ist aber das eine vorher in eine Säure oder ein Alkali getaucht, so zeigen sich schwache Spuren erregter Elektricität. Der Versuche dieser Art giebt es eine zahllose Menge. Zugleich bietet die Magnetnadel ein eben so leichtes als sicheres Mittel dar, die Art der elektrischen Disposition der untersuchten Körper unmittelbar zu erkennen. Zu diesem Ende wäre hinreichend, nur die Richtung der Multiplicatordrähte gegen die Axe der Magnetnadel zu kennen, um hieraus zu finden, nach welcher Seite sie bei einer positiv-elektrischen Strömung abweichen müſste; da aber dieses bei den oft wiederkehrenden Windungen zuweilen etwas schwierig ist, so darf man nur an das eine Drahtende des Multiplicators ein Stück Zink, an das andere ein Stück Silber oder Platin halten, die hierdurch bewirkte Abweichung beobachten, und dann schlieſsen, daſs der geprüfte Körper + el. ist, wenn er an dem nämlichen Drahtende, welches mit dem Zinke verbunden war, eine gleiche Wirkung äuſsert, im entgegengesetzten Falle aber — el.

Daſs die Reibungselektricität mit der durch Berührung erzeugten identisch sey, ist durch genügende Versuche erwiesen §. 173. Ebendaher wird auch die im vorigen §. angegebene Magnetisirung der Stahlnadeln leichter durch Flaschenschläge, als durch groſse Volta'sche Säulen bewirkt. Um so mehr muſste es auffallen, daſs die Magnetnadel un-

ter dem Verbindungsdrahte beider Belegungen einer Flasche nicht die mindeste Bewegung zeigt, wenn die Flasche durch ihn entladen wird, oder unter einem solchen Drahte, wenn er am einen Ende mit einer Kugel versehen wird, gegen welche starke Funken aus dem Conductor einer Elektrisirmaschine schlagen, und die Elektricität durch ihn also entweder der Erde oder dem negativen Conductor zuströmt, obgleich beide Arten der Elektrisirung Stahlnadeln magnetisch machen, und also eine Ausscheidung des Magnetismus in ihnen stattfindet. Dieses zu erklären giebt es kein anderes bis jezt bekanntes Mittel, als man wenn annimmt, die Elektricität durchströme in beiden Fällen den Leitungsdraht zu schnell und nur in einer einzigen plötzlichen Ausgleichung, als dafs sie die Trägheit der Magnetnadel überwinden, und sie in Bewegung setzen könnte, obgleich auch dieses beim Streben nach völlig klarer Einsicht der Sache nicht ganz befriedigt. Inzwischen ist es mir gelungen, durch Flaschenelektricität, wenn sie vermittelst Spitzen abgeleitet einen Multiplicator durchströmte, schwache Ablenkungen der Magnetnadel zu erlangen [1], später aber hat Colladon bei der Anwendung des feineren, durch Nobili erfundenen, Multiplicator's nicht blofs durch Strömungen der Elektricität aus geladenen Flaschen, sondern auch von den Conductoren starker Elektrisirmaschinen unzweifelhafte, regelmäfsige und leicht erkennbare Ablenkungen der Magnetnadel wahrgenommen [2]. Dafs also die Strömungen der Reibungselektricität auch in dieser Hinsicht gleiche Wirkungen haben, als die der Berührungselektricität, wäre sonach erwiesen, warum aber die der ersteren ungleich schwächer sind als die der lezteren bleibt noch immer fraglich.

§. 199.

Dafs die magnetische Kraft, wodurch der Leitungsdraht der Elektricität die angegebenen Wirkungen erzeugt, ganz eigentlicher Magnetismus sey, folgt aus den bisherigen Betrachtungen ohne allen Zweifel, wenn gleich die Aeufserungen desselben etwas verschieden von denen sind, welche gemeine natürliche und künst-

[1]) Gehler's Wörterbuch Th. III. p. 531.

[2]) Ann. chim. et Phys. XXXIII. 62. Poggendorff Ann. VIII, 336.

liche Magnete zeigen. Welches Verhältniſs aber zwischen der Elektricität und dem erzeugten Magnetismus stattfinde, überhaupt die eigentliche Theorie des Elektromagnetismus ist noch in viele Dunkelheiten gehüllt, und es ist bisher noch niemanden gelungen, eine durchaus befriedigende Hypothese hierüber aufzustellen.

Der Magnetismus des elektrischen Leitungsdrahtes zeigt sich als solcher nicht sowohl durch die Magnetisirung der Stahlnadeln, indem diese früher aus einer Erschütterung abgeleitet wurde, als vielmehr gegen jeden Zweifel unverkennbar durch die Anziehung des Eisenfeilichts, welches an demselben genau wie an einem gewöhnlichen Magnete festhängt, so lange die Strömung dauert. Hierbei ist es merkwürdig, daſs das Eisen von demselben keineswegs auf gleiche Weise als von einem gleich starken gemeinen Magnete, und selbst die Magnetnadel nicht polarisch angezogen und abgestoſsen wird, sondern daſs in lezterer die beschriebene Abweichung und das Bestreben zum Umkreisen des Leitungsdrahtes hervorkommt. Der Magnetismus des lezteren ist also allerdings ein eigenthümlich modificirter, allein dennoch unverkennbar ein wirklicher Magnetismus. Hierüber sind alle Physiker einig, dagegen sind sehr abweichende Theorieen über die Art seiner Hervorrufung durch die Elektricität und sein Verhältniſs zu dieser lezteren aufgestellt, welche sich im Allgemeinen in zwei Classen theilen lassen, nämlich zuerst diejenigen, wonach Elektricität und Magnetismus dem Wesen nach einander gleich seyn sollen, und zweitens diejenigen welche eine wesentliche Verschiedenheit derselben annehmen.

Unter diejenigen, welche Elektricität und Magnetismus für identisch halten, gehört vorzüglich der berühmte Entdecker des Elektromagnetismus, Oersted und derjenige, welcher die dazu gehörigen Erscheinungen und deren Gesetze im gröſsten Umfange behandelt hat, Ampère. Nach ersterem umkreiset die Elektricität den Leitungsdraht in dicht neben einander liegenden Spiralen, wozu aber eine kaum vorstellbare Geschwindigkeit erforderlich wäre, wenn man berücksichtigt, daſs die ablenkende Kraft sich bis auf 10 Fuſs Entfernung erstreckt, und hiernach also ein Cylinder aus dichten schraubenförmigen Windungen von 20 Fuſs Durchmesser gebildet werden müſste, die gar nicht denkbaren, bei einem Multiplicator von 60 bis 100 Windungen

entstehenden, Verwirrungen derselben ungerechnet. Nach dem lezteren dagegen sollen transversale elektrische Strömungen auch die gemeinen Magnete und den tellurischen Magnetismus erzeugen. Inzwischen haben sich sehr viele Physiker, und unter diesen namentlich der scharfsinnige H. Davy [1]) gegen die eigentliche Basis dieser Theorie, nämlich die Identität der Elektricität und des Magnetismus, erklärt, schon aus dem einzigen Grunde, weil eben bei den elektromagnetischen Erscheinungen die Elektricität isolirt wird, der Magnetismus aber nicht. Ein bedeutender Gegenbeweis, mehrerer anderer nicht zu gedenken, liegt gewiſs auch darin, daſs der in einer Röhre mit Salzwasser unterbrochene Leitungsdraht, welcher seine magnetischen Wirkungen fortdauernd zeigt, zugleich auch die Flüssigkeit zerlegt, auf welche der stärkste Magnet keine Wirkung äuſsert, und man muſs also nothwendig annehmen, daſs die eigentliche elektrische Potenz eine andere sey, als diejenige, welche die magnetischen Phänomene hervorbringt.

Die zweite Classe von Theorieen, wonach der Magnetismus im elektrischen Leiter durch den Strom der Elektricität auf eine gewisse noch nicht ergründete Weise hervorgerufen wird, kommt in der Hauptsache darin überein, daſs um den magnetisch gemachten Leiter gewisse nach seiner Länge sich erstreckende Linien von wechselnder Polarität erzeugt werden, aus deren gemeinschaftlicher Wirkung dann das Umlaufen der magnetischen Pole um denselben erklärlich werden soll. Da der Leitungsdraht oben ein entgegengesetztes Verhalten zeigt, als unten, so ist die Annahme von 4 solchen polaren Linien die geringste mögliche Zahl, und zu dieser Ansicht habe ich mich selbst auch früher bekannt, weil sich durch bloſse Zeichnung leicht nach-
Fig. 246] weisen läſst, daſs bei zwei parallel über einander befindlichen Leitern, deren Queerschnitte durch a und b dargestellt werden, bei gleichartiger Strömung Anziehung, bei entgegengesetzter aber Abstoſsung stattfinden muſs. Allein wie man auch immer die Lage dieser polaren Linien annehmen mag, selbst wenn man mit Prechtl [2]) sechs aus zwei
Fig. 247] ungleichen Polen zusammengesetzte Linien annimmt, so ist es doch Täuschung zu glauben, daſs hierdurch das Umlaufen der magnetischen Nadelspitzen um den ganzen Umfang des elektrischen Leiters stets nach einer Seite hin

[1]) Phil. Trans. 1821. p. 7.

[2]) Schweigg. Journ. XXXVI. 333. Kastner Archiv II. p. 155.

als nothwendige Folge abgeleitet werden könne, indem die geometrische Construction vielmehr zeigt, daſs die gemeinschaftliche Einwirkung solcher selbst willkührlich vieler unipolarer oder bipolarer Linien Puncte im Umkreise des Leiters giebt, wo die Nadel durch die gemeinschaftliche Wirkung aller zur Ruhe kommen müſste. Inzwischen ist die Gleichartigkeit der polaren Wirkung des magnetischen Leitungsdrahtes in seiner ganzen Länge eigentlich factisch dargethan, und mit der Annahme der polaren Linien kommt man daher vermuthlich der Erklärung am nächsten, wenn man hinzusetzt, daſs sie nicht eigentlich bleibend sind, sondern bei ihrer Erzeugung selbst eine noch nicht genauer nachgewiesene Beweglichkeit wahrscheinlich durch die einzelnen Pulsus der den Widerstand der Leiter bei ihrer Durchströmung überwindenden Elektricität erhalten. Genauere Bestimmungen hierüber, wie überhaupt eine befriedigende Theorie bleibt künftigen Untersuchungen vorbehalten [1]).

§. 200.

Daſs durch ungleiche Wärme das elektrische Verhalten verschiedener Körper geändert werde, wuſste man schon lange, indeſs wurde die Kenntniſs der hierzu gehörigen Erscheinungen sehr erweitert durch die Anwendung der feinen Magnetnadeln, welche die geringsten Spuren der Elektricität vermöge des durch dieselbe erzeugten Magnetismus anzeigen. Hiernach faſst man die ganze Classe der Phänomene, welche zur Erzeugung der Elektricität durch Temperaturwechsel gehören, unter dem Namen der *Thermoelektricität* zusammen, oder auch des *Thermomagnetismus*, weil nicht die Elektricität selbst, sondern nur der durch sie erzeugte Magnetismus wahrgenommen wird. Er zeigt sich bei ungleicher Erwärmung von zwei verbundenen Metallen, aber auch bei einem einzigen.

---

[1]) In jeder der zahlreichen Schriften über den Elektromagnetismus ist gewöhnlich nur eine Theorie vorgetragen. Die hauptsächlichsten sind indeſs von mir benutzt und genannt im Art. Elektromagnetismus in Gehler's Wörterbuch Th. III. p. 473—647, worauf ich daher verweise.

Die Zahl der bis jezt bekannt gewordenen, zum Thermomagnetismus gehörigen Erscheinungen ist nicht bedeutend grofs, liefse sich indefs leicht vermehren, wenn dieses bei der Einfachheit des Ganzen der Mühe werth wäre. Alles beruhet nämlich auf dem Satze, dafs zwei verbundene Metalle bei ungleicher Temperatur die Magnetnadel auf ähnliche Weise ablenken, als bei den elektromagnetischen Versuchen, und dafs eine geringe Afficirung derselben sich auch bei einigen einzelnen Metallen, namentlich von krystallinischem Gefüge und in bestimmten Verhältnissen zu der Lage der Flächen der angewandten Stücke wahrnehmen wenn sie partiell erwärmt oder erkaltet werden.

Die interessante Entdeckung des Thermomagnetismus machte Seebeck [1]). Wird ein etwa 3 Lin. breiter und 6
Fig. 248] bis 8 Zoll langer Streifen Kupferblech abcd zweimal rechtwinklich gebogen, und zwischen seine oberen Enden eine Stange Zink, Wismuth, Spiefsglanz $\alpha\beta$ (oder auch von anderen Metallen, jedoch dann mit geringerem Erfolge) gelöthet, so zeigt ein solcher Bügel bei gleichmäfsiger Temperatur keine Wirkung auf die feinsten, hierzu allein anwendbaren, Magnetnadeln; wenn aber eins der beiden Metalle, am besten das Kupfer, über einer Weingeistlampe etwas erhitzt, oder in Eis abgekühlt wird, so nimmt man unverkennbare Abweichungen der Nadel wahr. Dieser Apparat ist auf vielfache Weise abgeändert, namentlich durch v. Yelin [2]), am leichtesten läfst sich unter den vielen von ihm versuchten Modificationen derjenige darstellen, welchen auch Cumming [3]) zu gleichem Zwecke be-
Fig. 249] nutzt hat. Ein gewöhnlicher, zweimal rechtwinklich gebogener, Silberdraht abcd wird auf den Platindraht EF gelöthet, und an dem ungezwirnten Seidenfaden γ aufgehangen. Erhitzt man den lezteren mit einer Weingeistlampe, so nimmt derselbe durch den Einflufs des tellurischen Magnetismus eine bestimmte polare Richtung an. Auch wenn man zwei gleiche Metalle mit den Drahtenden feiner Multiplicatoren zusammenlöthet, und sie bei ungleicher Temperatur mit einander in Berührung bringt, wird die Magnetnadel afficirt. Noch fast wichtiger, und einer weiteren Prüfung werth sind die durch v. Yelin gemachten Entdeckungen, dafs dreikantige, vierkantige, runde und

1) Gilb. Ann. LXXIII. p. 115.
2) Ebend. p. 361.
3) Ann. of Phil. XXXIII. p. 178

anders gestaltete Stangen insbesondere von Wismuth, aber auch Zink und Spiefsglanz, wenn sie am einen Ende erhitzt, selbst nur erwärmt oder erkaltet werden, eine durch ihre Form bedingte ablenkende Wirkung auf die Magnetnadel hervorbringen. Die Erklärung, welche v. Yelin über diese Phänomene gegeben hat, wonach er sie auf die bekannten Gesetze der galvanischen Elektricitäts-Erregung zurückzubringen sucht, würde hier zu viel Raum erfordern, auch sind die Thatsachen hierzu noch nicht genügend bestimmt.

Man könnte immer die Frage aufwerfen, ob alle diejenigen Erscheinungen, bei denen sich blofs eine Wirkung auf die Magnetnadel zeigt, eigentlich elektrische sind, insofern der Magnetismus erst durch die erzeugte Elektricität hervorgerufen wird; oder ob sie nicht vielmehr rein magnetisch sind, so dafs der Magnetismus für sich und ohne Einflufs von jener erzeugt würde. Bei manchen, namentlich den thermomagnetischen Erscheinungen, ist die Entscheidung hierüber allerdings schwierig, aus der Gesammtheit der Phänomene aber, hauptsächlich wenn man berücksichtigt, dafs die rein elektrischen Veränderungen der Körper allezeit den Magnetismus hervorrufen, und hiermit alle diejenigen die auffallendste Aehnlichkeit haben, bei denen das aufgehobene elektrische Gleichgewicht nur durch den Einflufs auf die Magnetnadel sichtbar wird, geht unverkennbar hervor, dafs die erstere Ansicht die richtige sey. Endlich aber hat Becquerel [1]) sogar durch Thermoelektricität chemische Zersetzungen hervorgebracht.

Was der Magnetismus an sich, und seinem eigentlichen Wesen nach sey, ist weniger oft gefragt, und man hat eine geringere Menge von Hypothesen darüber aufgestellt, als z. B. bei der Elektricität, der Wärme und dem Lichte, vermuthlich weil die früher bekannten Erscheinungen desselben zu einfach waren und zu isolirt standen. Das Auffallende dieser Potenz, dafs eins der härtesten Metalle, nämlich Stahl, eine solche eigenthümliche Kraft der Anziehung und Abstofsung zeigt, erregte schon die Bewunderung der Alten. Vermöge dieser gegenseitigen Einwirkung des Anziehens und Abstofsens der magnetischen Pole, welche den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional ist, lassen sich zwar einige Spielereien herstellen §. 184, allein eben weil dieselbe bei geringem Abstande schon um das

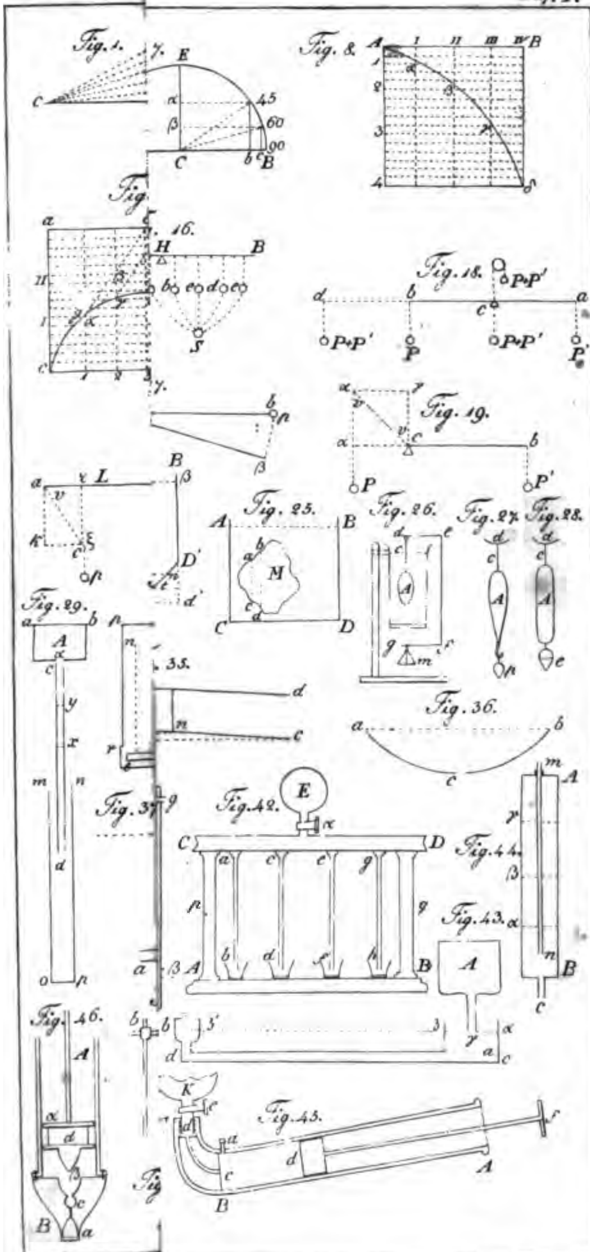
[1]) Ann. Chim. et Phys. XXXIV. p. 152.

4fache, bei einem doppelt so grofsen um das 16fache kleiner ist, so können keine bedeutende Wirkungen dadurch erzeugt werden, und wenn einige Personen glauben, dafs manche künstliche Mechanismen dadurch bewegt würden, welche eine bedeutende Kraft auf gröfsere Entfernungen erfordern, so beruhet dieses offenbar auf einer Unkunde der Sache. Ueberhaupt sind die Wirkungen des Magnetismus im Stahle und Magneteisensteine so leicht kenntlich, dafs sie sich ohne alle Schwierigkeit auffinden lassen.

In den älteren Zeiten wurden die magnetischen Erscheinungen von gewissen Wirbeln eines eigenthümlichen Aethers abgeleitet, welche in einem Kreislaufe wechselseitig in beide Pole ein und aus ihnen ausströmen, und zugleich das Eisen mit sich anziehend oder abstofsend fortreifsen sollten. Weil solche ätherartige Wirbel eigentlich nicht wohl deutlich vorstellbar sind, so hat man sie allgemein verworfen, denn die Wellen oder Undulationen des Lichtäthers können solchen Wirbeln nicht im Entferntesten gleichgesetzt werden. Die magnetischen Erscheinungen lassen sich auf allen Fall nicht auf solche Wellen zurückführen, wie die des Lichtes und vermuthlich einige der Wärme, sondern sie haben vielmehr einige Aehnlicheit mit den elektrischen, und es müfste ihnen daher ein eigenthümlicher Stoff zum Grunde liegen, da eine blofse Kraft, welche z. B. im Stahle verborgen liegen, und dann hervorgerufen werden sollte, nicht wohl denkbar ist.

Werden also Elektricität und Magnetismus mit einander verglichen, so sind zwar beide ihrem Wesen nach verschieden, insofern die Elektricität an sich keine magnetische und der Magnetismus keine elektrische Erscheinungen hervorbringt, allein es besteht doch eine gewisse Aehnlichkeit zwischen beiden, deren Aufsuchung eine nähere Einsicht in das Wesen des Magnetismus auf allen Fall erleichtert. 1) Die Hauptsache beruhet auf dem Vorhandenseyn zweier Magnetismen, welche sich beiderseitig zu o neutralisiren, weswegen auch alle Körper im natürlichen Zustande eben so magnetisch als elektrisch indifferent sind. Hiermit ist dann zugleich eine allgemeine Verbreitung beider verbunden, wobei es fraglich bleibt, ob dieser Neutralitätszustand oder die Anwesenheit beider zu o vereinigter Potenzen sich auch im luftleeren Raume findet, wie mir beim Magnetismus kaum zweifelhaft scheint. 2) Für die Elektricitäten sind viele Körper Nichtleiter, und erschweren daher die Vereinigung beider getrennter, für den Magnetismus sind nur

Taf. I.



Ant. Karcher Sc.

Fig. 64.

Fig. 65.

Fig. 66.

Fig. 78.

Fig. 79.

Fig. 82.

Fig. 97.

Fig. 99.

Fig. 100.

Fig. 101.

Fig. 103.

Fig. 104.

Fig. 105.

Fig. 106.

Fig. 107.

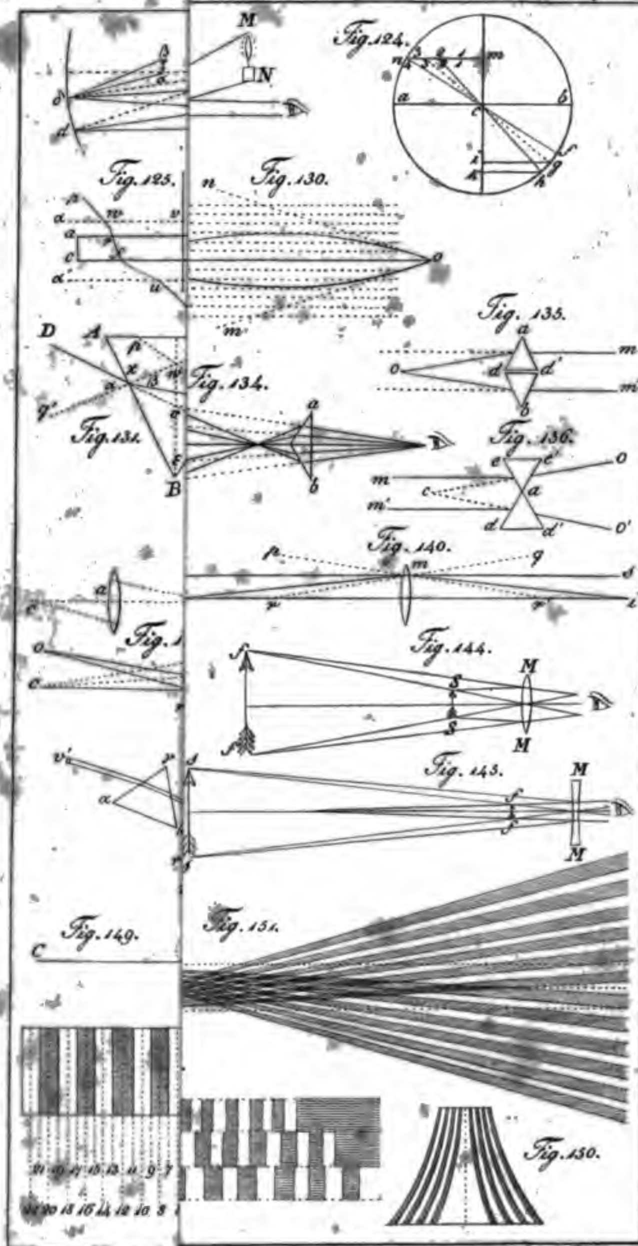
Fig. 108.

Fig. 110.

Fig. 120.

Ant. Karcher Sc.

Taf. III.



Ant. Karcher sc.

liche Magnete zeigen. Welches Verhältnifs aber zwischen der Elektricität und dem erzeugten Magnetismus stattfinde, überhaupt die eigentliche Theorie des Elektromagnetismus ist noch in viele Dunkelheiten gehüllt, und es ist bisher noch niemanden gelungen, eine durchaus befriedigende Hypothese hierüber aufzustellen.

Der Magnetismus des elektrischen Leitungsdrahtes zeigt sich als solcher nicht sowohl durch die Magnetisirung der Stahlnadeln, indem diese früher aus einer Erschütterung abgeleitet wurde, als vielmehr gegen jeden Zweifel unverkennbar durch die Anziehung des Eisenfeilichts, welches an demselben genau wie an einem gewöhnlichen Magnete festhängt, so lange die Strömung dauert. Hierbei ist es merkwürdig, dafs das Eisen von demselben keineswegs auf gleiche Weise als von einem gleich starken gemeinen Magnete, und selbst die Magnetnadel nicht polarisch angezogen und abgestofsen wird, sondern dafs in lezterer die beschriebene Abweichung und das Bestreben zum Umkreisen des Leitungsdrahtes hervorkommt. Der Magnetismus des lezteren ist also allerdings ein eigenthümlich modificirter, allein dennoch unverkennbar ein wirklicher Magnetismus. Hierüber sind alle Physiker einig, dagegen sind sehr abweichende Theorieen über die Art seiner Hervorrufung durch die Elektricität und sein Verhältnifs zu dieser lezteren aufgestellt, welche sich im Allgemeinen in zwei Classen theilen lassen, nämlich zuerst diejenigen, wonach Elektricität und Magnetismus dem Wesen nach einander gleich seyn sollen, und zweitens diejenigen welche eine wesentliche Verschiedenheit derselben annehmen.

Unter diejenigen, welche Elektricität und Magnetismus für identisch halten, gehört vorzüglich der berühmte Entdecker des Elektromagnetismus, Oersted und derjenige, welcher die dazu gehörigen Erscheinungen und deren Gesetze im gröfsten Umfange behandelt hat, Ampère. Nach ersterem umkreiset die Elektricität den Leitungsdraht in dicht neben einander liegenden Spiralen, wozu aber eine kaum vorstellbare Geschwindigkeit erforderlich wäre, wenn man berücksichtigt, dafs die ablenkende Kraft sich bis auf 10 Fufs Entfernung erstreckt, und hiernach also ein Cylinder aus dichten schraubenförmigen Windungen von 20 Fufs Durchmesser gebildet werden müfste, die gar nicht denkbaren, bei einem Multiplicator von 60 bis 100 Windungen

entstehenden, Verwirrungen derselben ungerechnet. Nach dem lezteren dagegen sollen transversale elektrische Strömungen auch die gemeinen Magnete und den tellurischen Magnetismus erzeugen. Inzwischen haben sich sehr viele Physiker, und unter diesen namentlich der scharfsinnige H. Davy [1]) gegen die eigentliche Basis dieser Theorie, nämlich die Identität der Elektricität und des Magnetismus, erklärt, schon aus dem einzigen Grunde, weil eben bei den elektromagnetischen Erscheinungen die Elektricität isolirt wird, der Magnetismus aber nicht. Ein bedeutender Gegenbeweis, mehrerer anderer nicht zu gedenken, liegt gewifs auch darin, dafs der in einer Röhre mit Salzwasser unterbrochene Leitungsdraht, welcher seine magnetischen Wirkungen fortdauernd zeigt, zugleich auch die Flüssigkeit zerlegt, auf welche der stärkste Magnet keine Wirkung äufsert, und man mufs also nothwendig annehmen, dafs die eigentliche elektrische Potenz eine andere sey, als diejenige, welche die magnetischen Phänomene hervorbringt.

Die zweite Classe von Theorieen, wonach der Magnetismus im elektrischen Leiter durch den Strom der Elektricität auf eine gewisse noch nicht ergründete Weise hervorgerufen wird, kommt in der Hauptsache darin überein, dafs um den magnetisch gemachten Leiter gewisse nach seiner Länge sich erstreckende Linien von wechselnder Polarität erzeugt werden, aus deren gemeinschaftlicher Wirkung dann das Umlaufen der magnetischen Pole um denselben erklärlich werden soll. Da der Leitungsdraht oben ein entgegengesetztes Verhalten zeigt, als unten, so ist die Annahme von 4 solchen polaren Linien die geringste mögliche Zahl, und zu dieser Ansicht habe ich mich selbst auch früher bekannt, weil sich durch blofse Zeichnung leicht nach-
Fig. 246] weisen läfst, dafs bei zwei parallel über einander befindlichen Leitern, deren Querschnitte durch a und b dargestellt werden, bei gleichartiger Strömung Anziehung, bei entgegengesetzter aber Abstofsung stattfinden mufs. Allein wie man auch immer die Lage dieser polaren Linien annehmen mag, selbst wenn man mit Prechtl [2]) sechs aus zwei
Fig. 247] ungleichen Polen zusammengesetzte Linien annimmt, so ist es doch Täuschung zu glauben, dafs hierdurch das Umlaufen der magnetischen Nadelspitzen um den ganzen Umfang des elektrischen Leiters stets nach einer Seite hin

[1]) Phil. Trans. 1821. p. 7.

[2]) Schweigg. Journ. XXXVI. 399. Kastner Archiv II. p. 155.


LIBRARY OF CONGRESS
0 003 644 330 3